

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
з напряму підготовки 6.051401 «Біотехнологія»  
(код і назва)  
на тему: «Одержання біогазу з відходів великої рогатої худоби»

Виконав: студент 4 курсу, групи БЕ-51  
(шифр групи)

Гуленко Данііл Олексійович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник асист., к.т.н. Зубченко Л.С.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант проф., д.т.н., проф. Саблій Л.А.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент проф., д.б.н., проф. Галкін О.Ю.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідальних посилань  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет біотехнології і біотехніки**  
**Кафедра екобіотехнології та біоенергетики**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051401  
«Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Є.В. Кузьмінський

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Гуленку Даніілу Олексійовичу

1. Тема проекту «Одержання біогазу з відходів великої рогатої худоби», керівник проекту к.т.н. асист. Зубченко Людмила Сергіївна, затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проекту: поголів'я ВРХ – 2000 голів; вологість гною – 90%; питомий вихід гною – 50 кг/добу. Необхідна вологість для зброджування – 98%. Режим зброджування – безперервний. Доза завантаження – 10%. Спроекувати метантенк для зброджування гною ВРХ.
4. Зміст пояснювальної записки: Характеристика гною ВРХ як сировини для виробництва біогазу; обґрунтування вбору технології виробництва біогазу; характеристика анаеробного активного мулу; опис хімічних та біохімічних перетворень, які відбуваються в процесі метаногенезу; матеріальний баланс; опис технології виробництва біогазу з гною ВРХ; розрахунок метантека; охорона праці та навколишнього середовища.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема виробництва біогазу з гною ВРХ (А1); Апаратурна схема виробництва біогазу з гною ВРХ (А1); Креслення метантенка для виробництва біогазу з гною ВРХ (А1)

## 6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту	Саблій Л.А. д.т.н., проф		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
	Проведення літературно-патентних досліджень.		
	Характеристика сировини.		
	Обґрунтування вибору технології.		
	Характеристика біологічного агента та біохімічних перетворень.		
	Опис технології. Матеріальний баланс. Сировина та матеріали.		
	Підбір і характеристика основного та допоміжного обладнання. Контроль виробництва.		
	Розробка креслень апаратурної та технологічної схеми. Розробка креслення метантенка.		
	Опис заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.		

Студент

Д.О. Гуленко

Керівник проекту

Л.С. Зубченко

\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 5 рис., 9 табл., 34 посилання.

Розроблено проект технологічного процесу бродіння відходів великої рогатої худоби для подальшого отримання біогазу –екологічного палива. В проекті обґрунтовано вибір процесу безперервного зброджування сировини при мезофільному, одноступінчастому режимі зброджування. Приведено характеристику відходів великої рогатої худоби як сировини для виробництва біогазу, наведені вимоги до біосировини, запропоновано схему її підготовки до бродіння, вказані оптимальні режими підготовки і бродіння, розраховано матеріальний баланс процесу, розроблена і описана технологічна та апаратурна схеми виробництва біогазу, вибрано основне і допоміжне обладнання, вказані точки і параметри контролю етапів процесу, необхідні для забезпечення якості кінцевої продукції, охорони праці і довкілля. Запроектовано метантенк об'ємом 2500 м<sup>3</sup>, проведено розрахунки, які підтверджують надійність і працездатність конструкції.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



## ABSTRACT

The explanatory note: 72 pages, 5 figures, 9 tables, 34 references.

The project of the technological process of fermentation of manure for the further obtainment of biogas - ecological fuel has been developed. The project substantiates the choice of the process of continuous fermentation of raw materials in a mesophilic, one-stage fermentation regime. The characteristics of manure for the further as raw material for biogas production are given, requirements for bioremediation are given, the scheme of its preparation for fermentation by adding manure of cattle is proposed, the optimal modes of preparation and fermentation are specified, the material balance of the process has been calculated, the technological and equipment schemes of biogas production have been developed and described, the basic and auxiliary equipment, specified points and control parameters of the process, necessary for the quality assurance of the final product, labor protection and the environment. A methane tank of 2500m<sup>3</sup> has been designed, calculations have been made, which confirm the reliability and efficiency of the design.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ.....	7
1.1. Характеристика гною ВРХ як сировини для виробництва біогазу.....	7
1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біогазу..	11
1.2.1. Існуючі технології отримання біогазу.....	13
1.3. Вибір технології отримання біогазу.....	14
1.4. Характеристика біологічного агента.....	24
РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВРХ.....	27
2.1. Схема перебігу процесів.....	27
2.2. Характеристика біогазу.....	31
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	34
3.1. Сировина та матеріали.....	34
3.2. Опис технологічного процесу.....	35
3.3. Контроль виробництва.....	46
3.4. Матеріальний баланс.....	48
РОЗДІЛ 4. ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ.....	50
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.....	54
ВИСНОВКИ .....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ .....	64

					ЕКБ.БЕ5104.ДП						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Гуленко Д.О				ЗМІСТ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.	Зубченко Л.С									5	
Реценз.								КПІ ім.. Ігоря Сікорського, ФБТ			
Н. Контр.											
Затверд.	Зубченко Л.С										

## СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

БУ – біогазова установка;

ВРХ – велика рогата худоба;

ГВРХ – гній великої рогатої худоби;

ПГ – природний газ;

СОР – суха органічна речовина;

СР – суха речовина;

рН – водневий показник;

н.у. – нормальні умови.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## ВСТУП

Історія людства найтіснішим чином пов'язана з отриманням та використанням енергії. З давніх-давен для отримання тепла люди використовували дрова, вугілля і нафту, енергію води і вітру перетворювали в механічну роботу. Зростання чисельності населення і підвищення рівня життя сприяли інтенсивному видобутку природного палива і збільшення енергоспоживання. Дефіцит енергії став причиною вишукування альтернативних джерел енергії: ядерної, сонячного випромінювання, внутрішнього тепла Землі, водневого палива і ін.

У класифікації джерел енергії в даний час існують два напрямки: поновлювані (енергія Сонця, внутрішня теплота Землі, вітер, вода, м'язова сила, водневе паливо, органічні речовини рослинних і тваринних співтовариств, так звана біомаса) і невозобновлюване (нафта, газ, вугілля, горючі сланці, торф, ядерне паливо). Ресурси поновлюваних джерел енергії досить великі і їх використання практично не має технічних обмежень.

Зростання викидів парникових газів, збільшення споживання води, її забруднення, виснаження земель і запасів природних енергоресурсів змушують шукати нові джерела енергії. Одним з них є біогазові технології.

Біогазова установка в даний час є характерним елементом сучасного, безвідходного виробництва в багатьох галузях сільського господарства та харчової промисловості. Якщо на підприємстві є відходи сільського господарства або харчової промисловості, з'являється реальна можливість за допомогою біогазової установки не тільки значно скоротити витрати на енергію, але і підвищити ефективність підприємства, отримати додатковий прибуток.

Для ряду підприємств, отримання біогазу дозволяє частково вирішити не тільки енергетичну проблему, але також екологічну та економічну.

					ЕКБ.БЕ5104.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гуленко Д.О			ВСТУП		
Перевір.		Зубченко Л.С					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Зубченко Л.С					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						2	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

Дана проблема особливо актуальна для сільського господарства, харчової промисловості, комунального господарства, де є велика кількість органічних відходів.

Устаткування для одержання біогазу дає можливість отримати горючий газ безпосередньо на підприємствах, спалювати його в котлах підприємства для отримання промислового пара або вживати його на інші потреби.

Біогазова енергетика - надійна і економічно вигідна альтернатива магістральному природному газу і централізованого енергопостачання, а також джерело дешевих, економічно чистих органічних добрив, порівнянних з органічної цінності з комплексними добривами. Значення цього фактора буде зростати в міру зростання тарифів на газ і пов'язаного з цим подорожчанням мінеральних добрив.

Серед промислово розвинених країн провідне місце у виробництві і використанні біогазу за відносними показниками належить Данії - біогаз займає до 18% в її загальному енергобалансі. За абсолютними показниками за кількістю середніх і великих установок провідне місце займає Німеччина - 8000 тис. шт. У Західній Європі не менше половини всіх птахоферм опалюються біогазом [7]..

В Індії, В'єтнамі, Непалі та інших країнах будують малі (односімейні) біогазові установки. Одержуваний в них газ використовується для приготування їжі. Найбільше малих біогазових установок знаходиться в Китаї - понад 10 млн (на кінець 1990-х). Вони виробляють близько 7 млрд м<sup>3</sup> біогазу на рік, що забезпечує паливом приблизно 60 млн селян. В кінці 2010 року в Китаї діяло вже близько 40 млн біогазових установок. У біогазовій індустрії Китаю зайняті 60 тисяч чоловік [8]. В Індії з 1981 року до 2006 року було встановлено 3,8 млн малих біогазових установок. У Непалі існує програма підтримки розвитку біогазової енергетики, завдяки якій в сільській місцевості до кінця 2009 року було створено 200 тисяч малих біогазових установок [9].

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			3

Україна має значний потенціал біологічних ресурсів для виробництва біогазу, використання якого дасть змогу забезпечити 4–7 % річних енергетичних потреб країни. За даними Агентства з відновлюваної енергетики, у 2000 р. обсяг використання біогазу в Україні склав 0,02 ТВт·год, причому в перспективі прогнозується суттєве зростання даного показника: в 2030 р. – до 10,2 ТВт·год/рік, у 2050 р. – до 17,4 ТВт·год/рік [2].

Потенційне виробництво в Україні біогазу - до 72 млрд м<sup>3</sup> в рік. Потенційно можливе виробництво з біогазу електроенергії становить 151 200 ГВт, тепла - 169 344 ГВт [7].

В Україні є поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша установка була побудована у 1993 році на свинофермі “Запоріжсталь”. Наступними стали компанії “Агро-Овен”, “Еліта”, “Українська молочна компанія” (“УМК”) (табл.). На даний час в Україні побудовано та на стадії завершення будівництва знаходиться 7 об’єктів із виробництва біогазу з відходів тваринництва у Дніпропетровській, Івано-Франківській, Київській, Одеській, Харківській, Херсонській областях.

Розвиток біогазових технологій в Україні зробить значний внесок у забезпечення енергетичної незалежності держави, сформує альтернативний газо-паливний ресурс, забезпечить можливість покриття пікових навантажень в електромережі, сприятиме створенню нових робочих місць та розвитку місцевої економіки, призведе до зменшення відчуження земель під смітники, а також покращить екологічну ситуацію в державі.

Зважаючи на вищесказане актуальним питанням є розробка технологій отримання біогазу з відходів.

*Мета:* вибір і обґрунтування технології виробництва біогазу з відходів великої рогатої худоби.

*Завдання дослідження:*

1. охарактеризувати відходи ВРХ як сировину для отримання біогазу;

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			4

2. провести аналіз існуючих технологій виробництва біогазу та обґрунтувати вибір технології виробництва біогазу з відходів ВРХ;
3. розглянути біохімічні перетворення, що відбуваються під час процесу метанового зброджування відходів ВРХ;
4. розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біогазу з відходів ВРХ; представити креслення апаратурної та технологічної схем;
5. розрахувати основні параметри та обрати метантенк, для проведення зброджування; розрахувати матеріальний баланс процесу виробництва біогазу; розробити креслення метантенка;
6. розглянути заходи з охорони праці на виробництві біогазу та охорони навколишнього середовища.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			5

# РОЗДІЛ 1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРІБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

## 1.1 Характеристика гною ВРХ як сировини для виробництва біогазу

В якості сировини для виробництва біогазу може використовуватись будь-який продукт чи відходи, що мають у складі органічні речовини: гній, пташиний послід, післяспиртова барда, відходи пивного виробництва, буряковий жом, фекальні осади, відходи рибного і забійного цеху (кров, жир, кишки), трава, побутові відходи, відходи молокозаводів - солоня і солодка молочна сироватка, відходи виробництва біодизеля - технічний гліцерин від виробництва біодизеля з ріпаку, відходи від виробництва соків - жом фруктовий, ягідний, овочевий, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю і патоки - мезга і сироп, відходи переробки картоплі, виробництва чіпсів - шкурки, гнилі бульби, кава пульпа.

Обсяги відходів, придатних для щорічної переробки лише на біогаз, загально по Європейському Союзу характеризуються такими оціночними даними: гній великої рогатої худоби (ВРХ) – 900 млн. т, гній свиней – 240 млн. т, тверді побутові відходи – 160 млн. т, осад стічних вод – 25 млн. т, промислові органічні відходи, здатні для переробки в біогаз – 35 млн. т [1]. Вони щорічно накопичуються і призводять до великих екологічних проблем.

Крім відходів біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, з силосної кукурудзи або силфія, а також водоростей. Вихід газу може сягати до 300 м<sup>3</sup> з 1 тони сировини.

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60%, 150-500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до 70%. Максимальна кількість біогазу - це 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану до 87% - можна отримати з жиру.

					ЕКБ.БЕ5104.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гуленко Д.О			РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Зубченко Л.С					7	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.								
Затверд.		Зубченко Л.С						



Сьогодні застосування ензимів, бустерів для штучної деградації сировини (наприклад, ультразвукових або рідинних кавітаторів) та інших пристосувань дозволяє збільшувати вихід біогазу на звичайнісінькій установці з 60% до 95%.

Гнойові відходи тваринництва, зокрема гній свиней та гній ВРХ, є субстратами, придатними та часто використовуваними для виробництва біогазу. Їх широке використання обумовлено рядом факторів.

Гнойові відходи, особливо безпідстилкові, завдяки високому вмісту води, є придатними для розбавлення інших, більш концентрованих субстратів, що дозволяє перекачувати їх насосами. Окрім того, склад гною характеризується порівняно високою буферною ємністю, що робить його корисним для запобігання різким змінам рН в реакторі.

Аналіз елементів, що містяться в гної, свідчить, що в ньому є: близько 25-93% води, 13-17% підстилки, 7-11% корму, до 17% ґрунтової маси і інших домішок. Наявність цих компонентів впливає на обсяги сухих органічних компонентів в субстраті, крім того, обсяг води визначає вологість біомаси. Для визначення вмісту сухих компонентів, а також параметрів вологості використовують спеціальні таблиці і поправочні коефіцієнти.

В складі гною присутні в достатній кількості ряд важливих макро- та мікроелементів, необхідних для метаболізму популяцій бактерій, що обумовлюють метанове бродіння [10], як і власне стартові популяції метангенеруючих бактерій, що робить його практично незамінним при запуску метантенків в дію.

Разом з тим, використання гною як моно-субстрату для виробництва біогазу має певні обмеження. Через високий вміст води і, відповідно, низьку концентрацію органічного вуглецю, а також високий вміст клітковини [10], питома швидкість виходу біогазу з одиниці об'єму біореактора є досить низькою [10]. Це, в свою чергу, призводить до низької енергетичної

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			7

ефективності біогазової станції, оскільки значна частина енергії біогазу буде витрачатись на підігрів біореактора та транспортування гною [10].

Окрім цього, через надто низьке співвідношення (C:N), процес метаногенезу може помітно сповільнитись внаслідок інгібуючої дії аміаку, що особливо характерно при моно-зброджуванні гною свиней [56]. Тому використання гною як моно - субстрату для виробництва біогазу, в більшості випадків, з економічної точки зору є недоцільним, та потребує додавання ко-субстратів [10, 11].

Фізико-хімічний склад гнойових відходів може суттєво відрізнятись. Серед факторів впливу на склад гною виділяють наступні: тип тварин, раціон харчування, спосіб утримання тварин, спосіб накопичення та відведення їх екскрементів [4, с.109-115].

Разом з тим, фізико-хімічний склад гною впливає на потенціал виходу біогазу з нього. Неякісний аналіз хімічного складу гною може призвести до значної похибки в оцінці виходу біогазу. Однією з причин виникнення значних похибок при оцінці потенціалу утворення біогазу (10-30%), зокрема з гнойових відходів, вважається неврахування вмісту ЛЖК .

В складі гнойових відходів загалом ідентифіковано декілька сотень ароматичних летких органічних сполук . Усі вони можуть бути поділені на 4 основні групи: сірковмісні сполуки, фенольні та індольні сполуки, аміак та леткі аміни, леткі жирні кислоти (ЛЖК) .

В гнойових відходах свиноферм найбільшу частку серед ЛЖК складає оцтова кислота (60-70%) та пропіонова кислота (10-20%), інші сумарно – 10-20%.

При зберіганні гною в підпільних каналах, накопичувальних ямах, гноєсховищах суттєва частина ЛЖК здатна вивільнятись, що буде позначатись відповідно на виході біогазу.

Втрата ЛЖК залежить переважно від температури зберігання, власне концентрації ЛЖК в гнойових відходах, а також від величини рН. При вищих

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			8

температурах зберігання, збільшуються втрати ЛЖК з гною. Чим нижче значення рН, тим більша частка ЛЖК перебуває в леткій неіонізованій формі (наприклад, оцтова кислота), у порівнянні з нелеткими іонізованими формами (наприклад, ацетат) . Втрати ЛЖК при зберіганні за температури повітря 25<sup>0</sup> С протягом 300 діб можуть складати до 33 43%. Водночас, за аналогічних умов втрачається до 68% азоту загального та до 78% азоту амонійного.

В таблиці 1.1 наведено огляд даних про фізико-хімічний склад гнойових відходів тваринницьких ферм та потенціал виробництва біогазу з них.

Таблиця 1.1

**Фізико-хімічні характеристики та питомий вихід біогазу з гнойових відходів**

Показник	Розмірність	Тип гною	Значення показника	
			Найменше	Найбільше
Вміст СР	% до маси	ГС	0,6	12,2
		ГВРХ	5,6	15,96
Зольність	% до СР	ГС	15	16
		ГВРХ	15	16
Азот (Nзаг)	% до СР	ГС	0,7	10,9
	г/кг		1,3	5,6
	% до СР	ВРХ	0,4	0,5
Амонійний азот	% до СР	ГС	2,9	6,8
	г/л		0,59	5,02
ЛЖК*	гекв/л	ГС	1,27	38,4
		ВРХ	11,5	20,5
Фосфор (Рзаг)	% до СР	ГС	0,35	0,64
	г/кг		0,1	2,5

	% до СР	ВРХ	0,06	0,14
	м <sup>3</sup> /кг СОР	ГС	0,2	0,93
		ВРХ	0,14	0,62
	м <sup>3</sup> /т СОР	ГС	0,29	0,68
		ВРХ	0,13	0,41
	% об	ГС	55	81
		ВРХ	50	80

\* - при переведенні даних про вміст ЛЖК з різних джерел прийнято: співвідношення [ЛЖК/ХСК] = 1,28 ; співвідношення [ммоль/гекв] = 60,052 (з розрахунку на молярну масу оцтової кислоти).

Ідея використання СК для виробництва біогазу виникла в результаті пошуку альтернативних видів органічної сировини, використання яких дозволило б значно збільшити загальний об'єм та ефективність виробництва біогазу.

Більш високий вміст амонійного азоту в гнойових відходах свиней, вказує на меншу придатність такого гною до моно-зброджування, аніж гною ВРХ.

При цьому в більшості випадків, концентрація NH<sub>4</sub>-N перевищує порогові величини (3000 мгNH<sub>4</sub>-N/л), при яких виявлено сильний інгібуючий вплив на ріст метаногенів. Разом з тим, концентрація амонійного азоту в СК в більшості випадків не перевищує 1000 мг/л.

Оптимальним співвідношенням С:N є діапазон 10-30:1.

Таким чином, і за даним показником рідкі гнойові відходи, з технологічної точки зору, можуть бути малопридатними для моно-зброджування. Натомість, співвідношення С:N в СК в більшості випадків перевищує значення 30. Очевидно, що змішування гнойових відходів та СК

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			10

дозволить оптимізувати склад суміші як за вмістом амонійного азоту, так і за показником C:N, що вказує на доцільність їх сумісного зброджування.

Аналіз складу гною великої рогатої худоби дозволяє зробити висновки про доцільність використання його як сировини виробництва біогазу. При цьому гній ВРХ виступає і як інокулят, і як субстрат одночасно. В залежності від способу утримання тварин гній, який використовують для отримання біогазу може потребувати додавання води для збільшення вологості сировини.

## **1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біогазу**

Розвиток виробництва біопалива в Україні є перспективним напрямом щодо зменшення енергетичної залежності від постачальників нафти та природного газу. Використання біопалив зменшує антропогенне навантаження на довкілля, зберігає природні ресурси за рахунок переробки відновлювальної сільськогосподарської сировини та відходів переробних галузей агропромислового комплексу.

Основними способами отримання енергії з біомаси є спалювання, анаеробне бродіння, гідроліз, ферментація, виробництво водню, суха перегонка та газифікація. Для сільського господарства найбільш перспективними та легкими для використання є перші два методи.

Найпростішим способом отримання корисної енергії з сухої біомаси є її спалювання у камерах згоряння. Основними недоліками такого методу є труднощі пов'язані із забезпеченням автоматичної подачі палива, необхідністю постійної уваги з боку користувачів, забрудненням навколишнього середовища димом та сажею. В основі роботи біогазових установок (БГУ) закладені біологічні процеси бродіння та розкладання органічних речовин під впливом метаноутворювальних бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високої вологості і температурного середовища 15 – 20 °С для психрофільних, 30 – 40 °С для мезофільних і 50 – 70 °С для термофільних бактерій.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			11

Анаеробне бродіння здійснюється в герметичній ємності – реакторі звичайної циліндричної форми горизонтального або вертикального розташування. Для ефективного бродіння в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру відповідно до прийнятого режиму бродіння: мезофільного або термофільного і здійснювати регулярне перемішування зброджуваної сировини.

Найбільш ефективними вважаються біореактори, що працюють у термофільному режимі. На таких установках з триденною ферментацією гною вихід біогазу становить 4,5 л на кожен літр корисного об'єму реактора. У процесі бродіння відбувається виділення біогазу, який містить 40 – 70 % метану, 30 – 60 % вуглекислого газу, біля 1 % сірководню і невелику кількість азоту, водню та аміаку. Об'ємна теплота згоряння біогазу складає 22 МДж/м<sup>3</sup>

Перероблені анаеробними методами органічні відходи є цінним біодобрином, здатним підвищувати родючість ґрунтів – одного з найбільш цінних ресурсів держави, а також підвищувати конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції.

В залежності від виду сировини змінюється вихід біогазу, наприклад, з 1 кг тваринних жирів виходить 1,2 м<sup>3</sup> /рік біогазу, а з 1 кг трави – 0,5 м<sup>3</sup> /рік. При розкладанні 1 м<sup>3</sup> твердих побутових відходів виділяється до 1,5 м<sup>3</sup> /рік біогазу. При спалюванні 1 м<sup>3</sup> біогазу можна отримати 1,7 кВт·год електроенергії або 2,5 кВт тепла [2].

### 1.2.1 Існуючі технології отримання біогазу

Всі відомі біогазові установки подібні за своєю будовою. Основними елементами апаратів є: реактор для біомаси (метатенка), газгольдер, нагрівальний пристрій і пристрій для перемішування субстрату.

Біогазові установки розрізняються за кількома критеріями: формою метатенки, способам перемішування і підігріву біомаси.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			12

Установки для виробництва біогазу за способами перемішування і підігріву біомаси зазвичай поділяють на чотири основні типи:

1. без підведення тепла і без перемішування сбраживаємої біомаси;
2. без підведення тепла, але з перемішуванням сбраживаємої біомаси;
3. з підведенням тепла і з перемішуванням біомаси;
4. з підведенням тепла, з перемішуванням біомаси та із засобами контролю і управління процесом бродіння.

Метатенк може бути різноманітної форми. Розрізняють яйцеподібні, циліндричні з конусними верхньою і нижньою частинами, резервуари, що мають форму паралелепіпеда, а також резервуари у вигляді виритої в ґрунті траншеї. Кожен з цих видів має свої переваги і недоліки, проте найбільш поширені циліндричні біореактори.

Розглянемо кожен із складових частин біогазової установки.

Відмінні риси бродильної камери (біореактора): по-перше, повна герметичність без всякого газообміну і протікання рідини через стінки; по-друге, надійна теплоізоляція; по-третє, стійкість до корозії. При цьому внутрішня частина камери повинна бути доступною для обслуговування, обов'язкові прості пристрої для завантаження камери ґноем і її спорожнення. Біореактори часто заглиблюють в землю, що забезпечує хорошу їх теплоізоляцію і герметизацію. У бродильних камерах обов'язково передбачена можливість надійної вентиляції.

Нагрівальні пристрої. Підігрів в біореакторах з пристроями здійснюється за допомогою шлангів, труб та інших теплообмінних пристроїв, через які пропускають гарячу воду. Температура останньої в теплообміннику не перевищує 60 ° С, так як більш висока температура викликає налипання на поверхневому теплообміннику частинок біомаси.

Пристосування для перемішування. Для ефективної роботи біореактора в ньому передбачається мішалка для перемішування сбраживаємої маси і

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			13

запобігання утворенню кірки. Конструкції мішалок різноманітні. Вони бувають механічними (з ручним або електричним приводом), а також гідравлічного або пневматичного дії. газгольдери: Ці апарати виконуються у вигляді надбудов на бродильні камери, а також окремо стоять, з'єднаними з бродильними камерами трубопроводами.

### 1.3. Вибір технології отримання біогазу

Важливими аспектами, які потрібно враховувати при розробці та виборі технологій виробництва біогазу є: необхідність проведення процесу в анаеробних умовах, певний рівень рН, вологість і температура для створення сприятливого середовища життя і розмноження бактерій. Особливого значення набуває рівномірна подача субстрату і регулярна подача поживних речовин.

Потрібно пам'ятати про період бродіння: його збільшення збільшує кількість виробленого газу. Перемішування дозволить запобігти утворенню осаду і скоринки, а також воно допомагає виводити з'явився газ [4]. Іншими словами: необхідно ретельно дотримуватися стабільності всіх стадій процесу отримання біогазу.

Технологія отримання біогазу включає в себе 4 етапи:

1. Гідроліз. Тут беруть участь аеробні гідролізні бактерії, а кінцевим продуктом вважається амінокислоти, моносахариди та жирні кислоти.

2. Підвищення кислотності. Тут задіяні кислотообразуючі бактерії. На виході з'являються двоокис вуглецю і органічні кислоти.

3. Освіта оцтової кислоти за допомогою бактерій, що утворюють цю оцтову кислоту. Продукти, які отримують в результаті процесу: двоокис вуглецю, водень і оцтова кислота.

4. Утворення метану за участю бактерій, які його виробляють. На заключному етапі ми отримуємо метан, воду, двоокис вуглецю і супутні гази(сірководень, водень, аміак тощо).

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



Технологія отримання біогазу може втілюватися у вигляді одностадійного або двостадійного процесу. У одностадійному процесі немає розділу за місцем протікання розкладання. А двустадійному процес застосовують для швидко розкладається сировини.

Кислотоутворюючі і метаноутворюючі бактерії зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. У травній системі великої рогатої худоби міститься повний набір мікроорганізмів, необхідних для зброджування гною. Тому гній ВРХ часто застосовують в якості сировини, що завантажуються в новий реактор. Для початку процесу зброджування досить забезпечити такі умови:

1) Підтримка анаеробних умов в реакторі - життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки при відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора і відсутністю доступу в реактор кисню;

2) Дотримання температурного режиму - підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших чинників процесу зброджування. У природних умовах освіту біогазу відбувається при температурах від 0 ° С до 97 ° С, але з урахуванням оптимізації процесу переробки органічних відходів для отримання біогазу і біодобрих виділяють три температурні режими:

- а) психофільний температурний режим визначається температурами до 20 - 25°С;
- б) мезофільні температурний режим визначається температурами від 25 ° С до 40 ° С;
- в) термофільний температурний режим визначається температурами понад 40 ° С.

Ступінь бактеріологічного виробництва метану збільшується зі збільшенням температури. Але, так як кількість вільного аміаку теж збільшується з ростом температури, процес зброджування може сповільнитися. Біогазові установки без підігріву реактора демонструють

задовільну продуктивність тільки при середньорічній температурі близько 20° С або вище або коли середня денна температура досягає щонайменше 18°С.

При середніх температурах в 20-28 ° С виробництво газу непропорційно збільшується. Якщо ж температура біомаси менше 15 ° С, вихід газу буде такий низький, що біогазова установка без теплоізоляції і підігріву перестася бути економічно вигідною. Відомості щодо оптимального температурного режиму різні для різних видів сировини [5].

Для біогазових установок працюють на змішаному гної ВРХ, свиней і птахів, оптимальною температурою для мезофільного температурного режиму є 34 - 37 ° С, а для термофільного 52 - 54 ° С. Психофільний температурний режим дотримується в установках без підігріву, в яких відсутній контроль за температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психофільному режимі відбувається при 23°С.

Процес біометанації дуже чутливий до змін температури. Ступінь цієї чутливості в свою чергу залежить від температурних рамок, в яких відбувається переробка сировини. При процесі ферментації можуть бути допустимі зміни температури в межах:

- 1) психофільний температурний режим:  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  в годину;
- 2) мезофільні температурний режим:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  в годину;
- 3) термофільний температурний режим:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в годину.

На практиці більш поширені два температурні режими, це термофільний і мезофільні. У кожного з них є свої переваги і недоліки. Переваги термофільного процесу зброджування це підвищена швидкість розкладання сировини, і отже більш високий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, що містяться в сировині. До недоліків термофільного розкладання можна віднести; велика кількість енергії, потрібна на підігрів сировини в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури і декілька нижча якість отримуваних біодобрих.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

При мезофільному режимі зброджування зберігається високий амінокислотний склад біодобрив, але знезараження сировини не таке повне, як при термофільному.

3) Доступність поживних речовин - для росту і життєдіяльності метанових бактерій (за допомогою яких проводиться біогаз) необхідна наявність в сировині органічних і мінеральних поживних речовин.

На додаток до вуглецю і водню створення біодобрив вимагає достатньої кількості азоту, сірки, фосфору, калію, кальцію і магнію і деякої кількості мікроелементів - заліза, марганцю, молібдену, цинку, кобальту, селену, вольфраму, нікелю та інших. Звичайна органічна сировина - гній тварин - містить достатню кількість вищезазначених елементів.

4) Час зброджування - оптимальний час зброджування залежить від дози завантаження реактора і температури процесу зброджування. Якщо час зброджування вибраний дуже коротким, то при вивантаженні сброженної біомаси бактерії з реактора вимиваються швидше, ніж можуть розмножуватися, і процес ферментації практично зупиняється. Дуже тривала витримка сировини в реакторі не відповідає завданням отримання найбільшої кількості біогазу і біодобрив за певний проміжок часу.

При визначенні оптимальної тривалості зброджування користуються терміном "час обороту реактора". Час обороту реактора - це той час, протягом якого свіжа сировина, завантажена в реактор, переробляється, і його вивантажують з реактора. Для систем з безперервним завантаженням середній час зброджування визначаються відношенням об'єму реактора до щоденного об'єму завантажуваної сировини. На практиці час обороту реактора вибирають залежно від температури зброджування і складу сировини в наступних інтервалах:

- 1) психофільний температурний режим: від 30 до 40 і більше доби;
- 2) мезофільні температурний режим: від 10 до 20 діб;

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

3) термофільний температурний режим: від 5 до 10 діб. Добова доза завантаження сировини визначається часом обороту реактора і збільшується (як і вихід біогазу) зі збільшенням температури в реакторі [1].

Якщо час обороту реактора складає 10 діб: то добова доза завантаження складатиме 1/10 від загального об'єму завантажуваної сировини. Якщо час обороту складає 20 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/20 від загального об'єму завантажуваної сировини. Для установок, що працюють в термофільному, частка завантаження може складати до 1/5 від загального обсягу завантаження реактора.

Вибір часу зброджування залежить також і від типу сировини, що переробляється. Для наступних видів сировини, що переробляється в умовах мезофільного температурного режиму, час, за який виділяється найбільша частина біогазу, дорівнює приблизно:

- 1) рідкий гній ВРХ: 10 -15 днів;
- 2) рідкий свинячий гній: 9 -12 днів;
- 3) рідкий курячий послід: 10-15 днів;
- 4) гній, змішаний з рослинними відходами: 40-80 днів.

5) Кислотно-лужний баланс - метанопродуючі бактерії найкраще пристосовані для існування в нейтральних або злегка лужних умовах. В процесі метанового бродіння другий етап виробництва біогазу є фазою активної дії кислотних бактерій. В цей час рівень рН знижується, тобто середовище стає більш кислою.

Однак при нормальному ході процесу життєдіяльність різних груп бактерій в реакторі проходить однаково ефективно і кислоти переробляються метановими бактеріями. Оптимальне значення рН коливається в залежності від сировини від 6,5 да 8,5. Виміряти рівень кислотно-лужного балансу можна за допомогою лакмусового паперу. Значення кислотно-лужного балансу відповідатимуть кольору: набуває папір при її зануренні в зброджувану сировину.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			18

6) Вміст вуглецю і азоту - одним з найбільш важливих факторів, що впливають на метанове бродіння (виділення біогазу), є співвідношення вуглецю та азоту в переробляється сировина. Якщо співвідношення С / N надмірно велике, то нестача азоту слугуватиме фактором, який обмежує процес метанового бродіння. Якщо ж це співвідношення дуже мало, то утворюється така велика кількість аміаку, що він стає токсичним для бактерій. Мікроорганізми потребують як в азоті, так і в вуглеці для асиміляції в їх клітинну структуру [6].

Різні експерименти показали: вихід біогазу найбільший при рівні співвідношення вуглецю і азоту від 10 до 20, де оптимум коливається залежно від типу сировини. Для досягнення високої продукції біогазу практикується змішування сировини для досягнення оптимального співвідношення С / N.

Співвідношення С / N для різних субстратів приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

**Вміст азоту і співвідношення вмісту вуглецю і азоту для органічних речовин**

Біоферментований матеріал	Азот N(%)	Співвідношення вуглецю до азоту C/N
1. Гній тварин		
ВРХ	1,7 - 1,8	16,6 - 25
Курячий	3,7 - 6,3	7,3 - 9,65
Конський	2,3	25
Свиний	3,8	6,2 - 12,5
Овечий	3,8	33

2. Рослинні сухі відходи		
Кукурудза	1,2	56,6
Солома зернових	1	49,9
Пшенична солома	0,5	100 - 150
Кукурудзяна солома	0,8	50
Вівсяна солома	1,1	50
Соя	1,3	33
Люцерна	2,8	16,6 - 17
Буряк	0,3 - 0,4	140 - 150
3. Інше		
Трава	4	12
Тирса	0,1	200 - 500

7) Вибір вологості сировини - безперешкодний обмін речовин в сировині є передумовою для високої активності бактерій (табл.2). Це можливо тільки в тому випадку, коли в'язкість сировини допускає вільний рух бактерій і газових бульбашок між рідиною і що містяться в ній твердими речовинами. У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки. Тверді частинки, наприклад, пісок, глина та ін. обумовлюють утворення осаду. Більш легкі матеріали піднімаються на поверхню сировини і утворюють кірку.

Це призводить до зменшення виходу біогазу. Тому рекомендується ретельно подрібнювати перед завантаженням в реактор рослинні залишки - соломі та інші, і прагнути до відсутності твердих речовин в сировині.

Вміст сухих речовин визначається вологістю гною. При вологості 70% в сировині міститься 30% сухих речовин.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

8) Регулярне перемішування - для ефективної роботи біогазової установки і підтримування стабільності процесу зброджування сировини усередині реактора необхідне періодичне перемішування. Головними цілями перемішування є:

- 1) вивільнення виробленого біогазу;
- 2) перемішування свіжого субстрату і популяції бактерій (щеплення);
- 3) запобігання формуванню кірки і осаду;
- 4) запобігання ділянкам різної температури всередині реактора;
- 5) забезпечення рівномірного розподілу популяції бактерій;
- 6) запобігання формуванню порожнеч і скупчень, що зменшують ефективну площу реактора.

При виборі відповідного способу і методу перемішування потрібно враховувати, що процес зброджування є симбіоз між різними штамми бактерій, тобто бактерії одного виду можуть жити інший вигляд. Коли спільнота розбивається, процес ферментації буде непродуктивним до того, як утворюється нове співтовариство бактерій. Тому дуже часте або тривале і інтенсивне перемішування шкідливе. Рекомендується повільно перемішувати сировину через кожні 4-6 годин.

9) Інгібітори процесу - зброжує органічна маса не повинна містити речовин (антибіотики, розчинники і т. П.), Що негативно впливають на життєдіяльність мікроорганізмів, вони сповільнюють а іноді і припиняють процес виділення біогазу. Не сприяють "роботі" мікроорганізмів і деякі неорганічні речовини, тому не можна, наприклад, використовувати для розведення гною воду, що залишилася після прання білизни синтетичними миючими засобами.

На кожен з різних типів бактерій, що беруть участь в трьох стадіях метаноутворення, ці параметри впливають по-різному. Існує також тісна взаємозалежність між параметрами (наприклад, вибір часу зброджування залежить від температурного режиму), тому складно визначити точне вплив

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

кожного фактора на кількість що утворюється біогазу. Біогаз, який отримують в результаті зброджування органічних речовин має велику кількість домішкових газів, таких як  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ , (Табл.1.3), тому для подальшого використання потребує очищення.

Таблиця 1.3

### Склад біогазу отриманого в результаті бродіння

Назва компоненту	Метан	Вуглекислий газ	Сірководень	Аміак	Водень
Позначення	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2$
Вміст у складі біогазу	60-70%	25-30%	До 5%		

Існують технології отримання біогазу розраховані на різні об'єми сировини. Технології, які використовуються в індивідуальних приватних господарствах відрізняються від промислових простотою технологічного процесу та меншою кількістю споруд.

Для невеликих об'ємів сировини може бути використана наступна технологія представлена на рисунку 1.1.

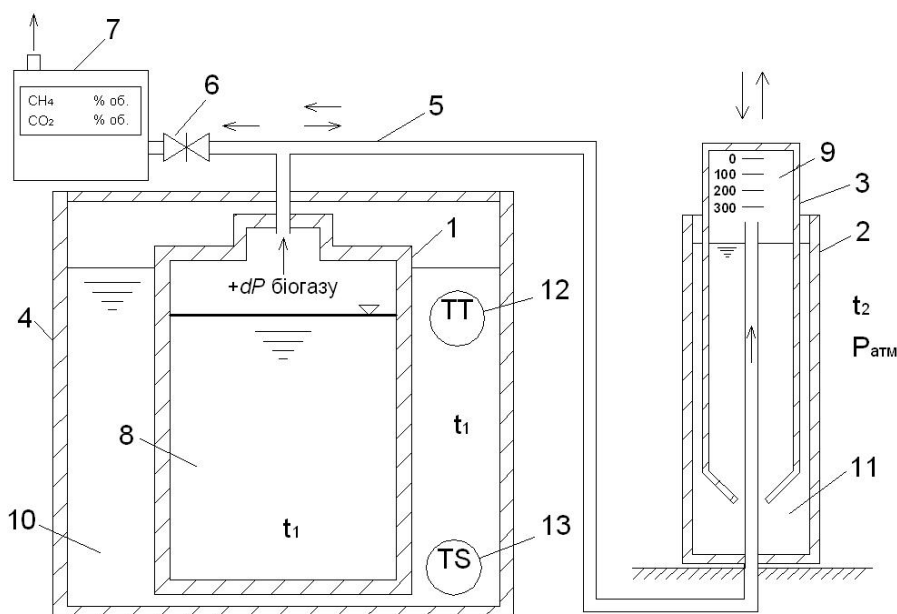


Рис. 1.1. Принципова схема одиначної системи дослідної установки



1 - ємність біореактора; 2 - нерухома частина евідіометра; 3 - рухома частина евідіометра; 4 – ємність з теплоносієм; 5 - трубка з ПВХ для руху біогазу;  
6 - газовий запірний кран; 7 - газоаналізатор; 8 - робоче середовище біореактора; 9 - внутрішній простір евідіометра з біогазом; 10 - теплоносії (вода); 11 - 5% водний розчин *NaCl*; 12 - ртутний термометр; 13 – терморегулятор

Установка виконана у вигляді ряду аналогічних, герметично виконаних систем, кожна з яких включає в себе такі основні елементи як біореактор робочим об'ємом 2 дм<sup>3</sup> та евідіометр з можливістю накопичення до 1,7 дм<sup>3</sup> біогазу. Біореактори згруповано в окремі системи, по 7 одиниць у кожній. Кожну групу біореакторів поміщено в ємність з водою (4).

Одинична система утворена наступним чином. Як ємність біореактора (1) використано скляну ємність загальним об'ємом 3 дм<sup>3</sup>. Для герметизації газового простору в верхній частині ємності використано капронову кришку із штуцером для відведення газу. Штуцер з'єднано за допомогою гнучкої трубки з прозорого ПВХ з алюмінієвою трубкою, герметично вмонтованою в днище нерухомої частини евідіометра – пластикового патрубку з заглушкою  $D_y=100$  мм. Алюмінієва трубка влаштована співосно патрубку і виходить за його край на 5 мм для запобігання потрапляння води в систему газовідведення. Нерухому частину евідіометра встановлено стаціонарно на горизонтальній поверхні і заповнено 5% водним розчином *NaCl*, який дозволяє уникати втрат біогазу шляхом абсорбції. Відбір біогазу на аналіз та його відведення виконується за допомогою додаткової відвідної гнучкої трубки, на кінці якої вмонтовано корковий газовий кран.

Нагрівання та контроль температури води в ємностях, де розташовано біореактори, організовано за допомогою електричного обігрівача, обладнаного терморегулятором, типу Aquael Easyheater (потужність 100 Вт, точність контролю температури  $\pm 1^\circ\text{C}$ ). Для інтенсивного відведення та рівномірного розподілу теплоти від обігрівача використано крильчатковий насос зануреноготипу, працюючий в безперервному режимі.

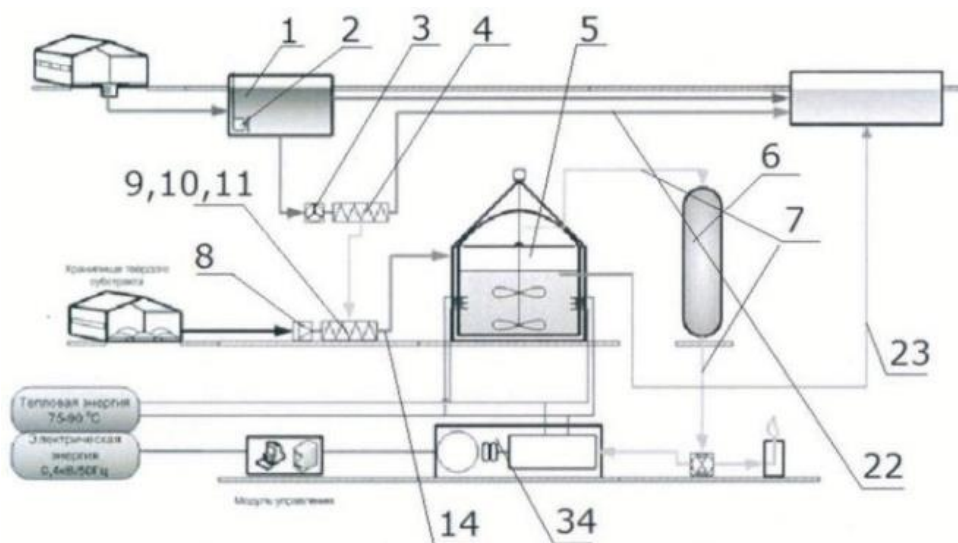
Вимірювання температури організовано за допомогою лабораторного ртутного термометра.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			23

Схема технології для промислового виробництва біогазу приведена на рисунках 1.2- 1.4.

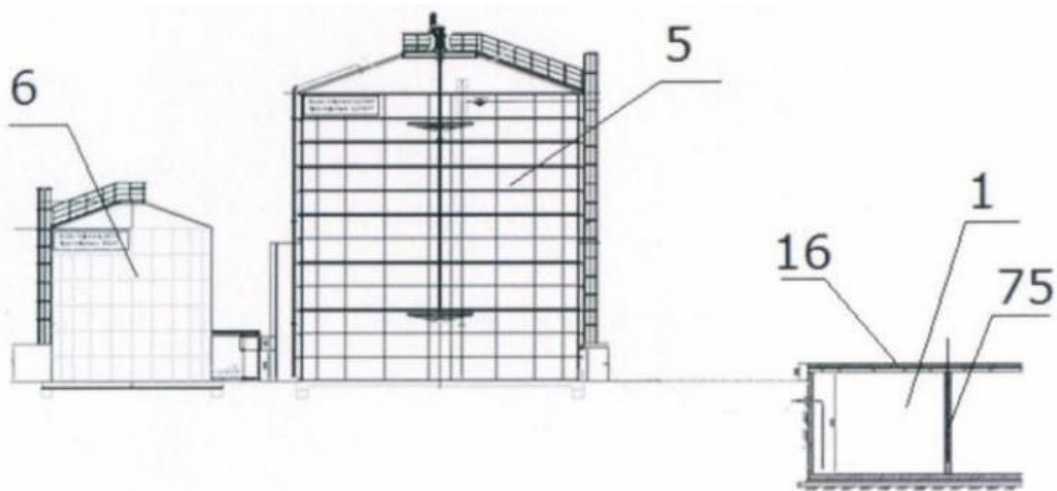
### Технологія отримання біогазу в біогазовій установці

Біогазова установка (рис 1.2.) містить: приймальну ємність (1) з пристроєм (2) змішування вихідної сировини, пов'язану через насос (3) з сепаратором (4), резервуар (5) виробництва біогазу з акумулятором (6) біогазу і лінією (7) його відвода. В пристрій введені дозатор (8) твердого субстрату і приймальний бункер (9) з шнековим транспортером (10). При цьому вхідна воронка (11) приймального бункера розміщена під вихідними отворами (12) і (13) сепаратора і дозатора, вихід (14) шнекового транспортера повідомлений з резервуаром (5) виробництва біогазу, а пристрій (2) перемішування вихідної сировини виконано у вигляді мішалки (15) періодичної дії.



**Рис. 1.2. Загальний вигляд біогазової установки**

Приймальна ємність (1) виконана повністю із залізобетону з дахом (16) з центральною опорною колоною (75) для підтримки (Рис.1.3.).

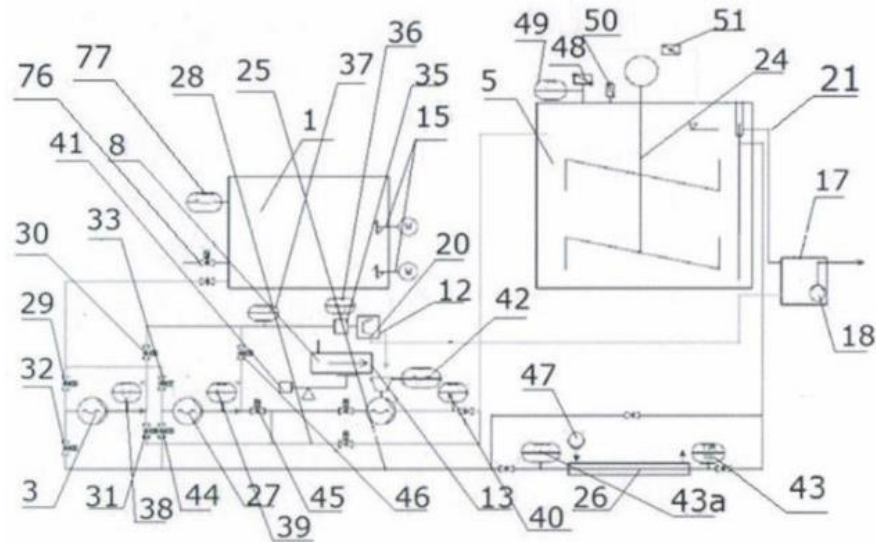


**Рис. 1.3.. - Схема взаєморозміщення елементів біогазової установки  
(вид спереду)**

В установку введені приймальний резервуар (17) насосної станції з занурювальним насосом (18) для перекачування рідкої фракції в лагуни по трубопроводу (19) підземної прокладки, а отвори (20) і ( 21) для виходу рідкої фракції сепаратора і рідких органічних добрив резервуара (5) виробництва біогазу повідомлені трубопроводами (22) і (23) зі згаданим прийомним резервуаром. Резервуар виробництва біогазу забезпечений вертикальною мішалкою (24) безперервної дії, лінією (25) рециркуляції субстрату з водяним трубчастим теплообмінником (26) і водяним цінтробіжним насосом (47) для підігріву вмісту резервуара виробництва біогазу, другим подає насосом (27), лінією (28) обходу сепаратора і задвигунами (29, 30, 31, 32, 33, 44, 45, 46) на що подають і всмоктуючих трубопроводах обох насосів, включених за принципом взаємного резервування (Рис.1.4.).

В установці передбачена теплоелектрогенераторная установка (34) пов'язана з лінією рециркуляції (25) субстрату і лінією (7) відведення біогазу з резервуара його виробництва. Перед сепаратором (4) встановлений приймальний бак (35) з датчиком (36) рівня його наповнення. Режим заповнення і роботи резервуара (5) виробництво (25) біогазу контролюється і

управляється за допомогою датчика витрати (37), датчиків тиску (38, 39, 40), пристрої зважування (41), датчика рівня завантаження (42) бункера шнека, датчика температури (43, 43a). Тепловий режим забезпечується водяним насосом (47) теплового контуру.



**Рис. 1.4. Структурна схема біогазової установки (біологічна частина)**

Технологічні етапи переробки сировини на біогаз наступні:

#### 1. Початкова сировина

Свіностоки - 106 м<sup>3</sup>/Добу з вмістом сухої речовини 5%.

Додатково додається жито в обсязі 7,05 т / добу.

#### 2. Подача стоків

Свіностоки подаються з каналізаційного трубопроводу. Подача стоків не рівномірна і проводиться за фактом наповнення накопичувальних бункерів.

Обслуговуючий персонал вручну відкриває засувки накопичувальних бункерів і стоки самопливом надходять в каналізаційний трубопровід.

Для компенсації нерівномірності подачі стоків в біогазову установку встановлена приймальна ємність (1) з залізобетонного підземного виконання.

Обсяг ємності 1 тис. м<sup>3</sup>

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Обраний для забезпечення можливості прийняти стоки за 15-денний період накопичення їх в свинокомплексі. При цьому вона буде спустошена до мінімально-допустимого рівня шляхом подачі раніше поступаючи стоків в метантенк (5) - резервуар виробництва біогазу.

На трубопроводі подачі стоків в приймальну ємність встановлена задвижка з електроприводом (76), постійно відкрита в робочому режимі. За сигналу перевищення рівня наповнення від датчиків приймальні ємності (77) і камери подачі стоків засувка (76) перекривається. В процесі подачі стоків з приймальні ємності (1) в метантенк (5) рівень наповнення знижується і при досягненні заданого рівня за сигналом від датчика наповнення (77) засувка (76) знову відкривається.

У приймальні ємності встановлені дві заглибні мішалки (15) електропотужністю по 10 кВт для гомогенізації вступників стоків. Зазначені мішалки включаються за певний інтервал часу, до початку подачі стоков в метантенк (5) і вимикаються після подачі.

З приймальної ємності (1) гомогенізовані стоки подаються в сепаратор (4) для відділення надлишків води перед подальшою подачею в метантенк (5). Подача здійснюється одним з двох ексцентрикових насосів (3, 27) по 7,5 кВт, що працюють за принципом взаємного резервування. Цими ж насосами проводиться прокачування субстрату через теплообмінник (26) на лінії рециркуляції. Для подачі свіностоків через насос (3) відкривається засувка на трубопроводі від приймальної ємності (29) і засувки на які подають трубопроводах (30) до сепаратора і (31) в обхід сепаратора. При цьому повинна бути закрыта засувка (33) на трубопроводі до насосу (27) і засувка на лінії рециркуляції (32).

Подаючий насос (3) працює циклічно протягом доби. Включення відбувається щогодини на час  $t_1 = 15$  хвилин. Протягом цього часу стоки викачуються з приймальної ємності рівними порціями по  $4,42 \text{ м}^3$  подаються:

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			27

- на сепаратор для відділення надлишків води через засувку (30) в обсягів по 71% від загальної маси;

- в обхід сепаратора безпосередньо в метантенк через засувку (31) в обсязі 29% від загальної маси.

Подається обсяг на сепаратор контролюється датчиком витрати (37).

За свідченнями датчика відраховується поданий обсяг стоків і при досягненні потрібного обсягу насос (3) відключається.

На виході з насосів (3, 27) на трубопроводах встановлені датчики тиску (38, 39) для контролю режиму роботи насосів. У разі перевищення датчиків тискунасоси відключаються.

3. Сепарація стоків необхідна для відділення надлишків води і доведення концентрації сухої речовини в метантенке до необхідного значення (близько 13% вмісту сухої речовини) для протікання біологічних реакцій. На трубопроводі подачі стоків в сепаратор встановлений датчик расхода (37), за показаннями якого контролюється подається обсяг. Перед сепаратором встановлений приймальний бак (35) з датчиком рівня наповнення (36) для забезпечення рівномірності подачі стоків на сепаратор (4).

Пропускна здатність сепаратора (4) становить  $5-10 \text{ м}^3/\text{Ч}$  при фільтрі 0,75 мм. Відокремлена рідка фракція з сепаратора (4) направляється по наклон ному трубопроводу самопливом в приймальний резервуар насосної станції (17), об'ємом  $11 \text{ м}^3$ , в якій змонтований погружной насос для перекачування рідкої фракції в лагуни по трубопроводу підземної прокладки.

4. Подача твердої органічної речовини (жито чи інша органіка, яка задовольняє вимоги біологічного процесу) виконується з бун кер-дозатора (8) обсягом  $35 \text{ м}^3$ . Обсяг бункера дозволяє зберігати запас сировини на 45,5 тонн, з розрахунку щільності жита  $1,3 \text{ т} / \text{м}^3$ . Цього запасу достатньо для роботи протягом 6 днів.

Завантаження в бункер (8) нової порції сировини виробляється автонавантажувачем по необхідності. За умови забезпечення безперервної

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			28

роботи для запобігання спустошення бункера, доцільно проводити до загрузку кожні 5 днів.

Подача твердої речовини включається одночасно з подачею стоков з приймальної ємності. Контроль маси, що подається виконується приладом зважування (41), виконаним у вигляді датчиків тиску під опорами бункера. При зниженні маси бункера на задану величину (294 кг), подача припиняється.

5. Для подачі в метантенк (5) ферментної маси з утворюється в ході сепарації концентрованої фракції і твердої добавки з дозатора (8) змінюється V-подібний приймальний бункер з інтегрованим в дно шнековим транспортером (10). Приймальний бункер зі шнеком (10) встановлений в напрямку під вихідними вікнами сепаратора (4) і дозатора твердого субстрату (8). Приймальний бункер оснащений датчиком рівня (42), за яким контролюється рівень наповнення воронки, і в разі перевищення максимально-допустимого рівня подача з сепаратора (4) і дозатора (8) припиняється. Подача також припиняється за сигналом від датчика тиску (40), встановленого на трубопроводі на виході з шнекового транспортера (10).

6. Завданням метантенка (5) є бактеріальне перетворення органічного матеріалу, що міститься у поданих речовинах, в газ. При надходженні нової порції субстрату, рівень наповнення підвищується і міститься в метантенке (5) продукт бродіння (органічні добрива) зливається самопливом через сифон. Таким чином, в метантенке (5) підтримується постійний рівень наповнення, що становить 0,5 м від борта або 3385 м<sup>3</sup>

Отримувані органічні добрива за вільним ухилу самопливом подаються в приймальний резервуар насосної станції (17), звідки перекачуються в лагуни по трубопроводу підземної прокладки разом з відокремленою рідкої фракцією після сепаратора (4).

Крім мішалки (24) в метантенке (5) відсутні рухливі деталі. Вертикальна мешалка забезпечує повне перемішування бродильних субстратів, щоб у всьому метантенке (5) створювалися однакові умови для

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			29

виробництва газу. Вона працює безперервно, за винятком випадків проведення регламентних робіт.

Середній вміст сухої речовини в метантенке (5) становить 12,7% і забезпечується дозирующей подачею сепарованих і несепарірованих стоків, а також добавками твердої органіки (зеленої маси).

7. Режим роботи метантенка (5) - мезофільний, що вимагає дотримання температурного режиму 35-38 ° С. Для підігріву вмісту метантенка виповнена лінія рециркуляції субстрату з водяним трубчастим теплообмінником (26). Циркуляція субстрату через теплообмінник (26) забезпечується ексцентріковим насосом (27). При цьому повинна бути відкрита засувка (44) і (45) при закритих засувках (33) і (46) температура субстрату в метантенке (5) контролюється датчиком (43), встановленим перед теплообмінником (26).

Температура підігрітого субстрату, що подається в метантенк, контролюється датчиком (43а), встановленим на виході з теплообмінника (26).

Теплова потужність теплообмінника складає 250 кВт. Тепло подводиться від електрогенераторної установки (34) за допомогою водяного насоса (47).

Процес анаеробного зброджування в метантенке протікає з виділенням біогазу. Розрахункова вироблення біогазу становить 238 м<sup>3</sup> /година. Температура біогазу на виході з метантенка дорівнює температурі субстрату ~ 35-38 ° С.

Поступово накопичуючись в вільному обсязі метантенка, біогаз створює надлишковий тиск (max = 25 мбар в галузі освіти газу). Для запобігання можливості виникнення вибухонебезпечної ситуації на даху метантенка встановлений гідравлічний захист низького / високого тиску (48), з передбаченим витратоміром (49), (57) і (50), що працюють в діапазоні [+25мбар; -4 мбар].

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



Газ відводиться по трубопроводу зі сталі підвищеної якості (надземний), який виходить зі даху метантенка. На випадок аварії на газопроводі передбачений вентиль (51), який в робочому режимі знадиться в положенні "відкрито".

Виходить з метантенка біогаз майже на 100% насичений водяною парою і має в своєму складі високий вміст сірководню, що викликає істотну корозію сталевих трубопроводів, арматури і обладнання.

Газопровід від метантенка (5) веде до форшахти газосховища, в якій встановлено гравійний фільтр (52). У гравійному фільтрі газ проходить стадію очищення від механічних домішок. Також фільтр оснащений вбудованим кон денсатоотводчіком, який дозволяє разом з водою сепарувати частину шкідливих розчинних у воді газів.

З форшахти біогаз надходить в газгольдер (6), який є сховищем газу, а також вирівнює синусоїдальний графік виробництва і забезпечує рівномірне споживання газу. Зовнішня частина газгольдера є циліндричною захисною камерою зі сталевих листів з емальованим покриттям (діаметр 9,39 м, висота 8,47 м), дах -усічений конус з армованого скловолокна. Усередині захисної камери розташована газова мембрана на 500 м<sup>3</sup>.

Тиск всередині мембрани наближений до атмосферного. Для підтримання тиску біогазу в газгольдері на заданому рівні [+5 мбар; -4 мбар] на підвідному трубопроводі (53) після гравійного фільтра (52) встановлено гідравлічний запобіжник високого / низького тиску (54) з витратоміром (55).

Газгольдер також оснащений датчиком рівня (56). При досягненні і максимального рівня наповнення здійснюється скидання на факел газу (58). Якщо рівень наповнення при цьому не знижується, то спрацьовує виконавчий механізм (54) по тиску біогазу і відбувається аварійне скидання надлишків біогазу в атмосферу.

З газгольдера (6) біогаз по газопроводу надходить в конденсатоотводик (61), розташований в форшахти, де відбувається відділення парів води.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Утворений при цьому конденсат видаляється шляхом скидання. При нормальному режимі роботи газові вентиля (60) і (59), встановлені перед гравійним фільтром (52) і після конденсатовідвідника (61) відповідно відкриті, а вентиль (62) обвідної лінії закритий.

Після газосховища біогаз по газопроводу, прокладеному нижче рівня промерзання ґрунту, за допомогою дожимного компресора (63), що працює за принципом радіального вентилятора (потужністю 3,3 кВт), подається в газове приміщення, розташоване в технічній будівлі.

Внаслідок того, що біогаз з метантенка виходить з температурою 35-38° С, виникає необхідність його охолодження і осушення до необхідних теплоелектрогенераторної установкою температурних параметрів. Процес осушки газу відбувається в охолоджувачі (64) потужністю 3,5 кВт. В процесі охолодження утворюється конденсат, який видаляється за допомогою передбаченого конденсатовідвідника.

На виході з охолоджувача (64) і перед компресором (63) встановлені прилади для контролю наявності потоку газу (65) і (66) відповідно. В разі зниження або зникнення потоку зовсім, робота компресора буде остановлена за допомогою автоматичного вакуумного вимикача.

Компресор, працюючи в постійному режимі, підвищує тиск біогазу до необхідних для теплоелектрогенераторної установки значень (80 ... 200 мбар). На виході з компресора встановлений датчик температури (67).

Після компресора, газ подається на установку для знесірчення (68), де йде процес з'єднання сірководню з активованим вугіллям і видалення його з газу. Для ефективного використання адсорбенту до неочищеному газу додавали невелику кількість кисню повітря, завдяки чому активироване вугілля відновлює свої властивості.

На виході з установки для знесірчення встановлені:

- датчик витрати газу (78), призначений для контролю обсягу газу;

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

- датчик зміни складу газу (69), службовець для контролю вмісту  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$  в газі.

Якщо підводиться газ відповідає заданим параметрам, то він йде на спалювання в когенераційну (теплоелектрогенераторную) установку (70) з встановленою потужністю 526 кВт.

Якщо ж підводиться газ не відповідає необхідному складу або когенераційна установка відключена, то біогаз надходить в аварійну факельну установку (58), електричною потужністю 2 кВт, і спалюється. В разі аварійного відключення факела або когенераційної установки (або на випадок ремонтних робіт) на підвідному газопроводі встановлені газові вентилі (71) до факела і (72) до когенераційної установки для можливості припинення подачі газу вручну.

Регулювання подачі газу на факельну установку здійснюється газом вимкненим вентилем з електричним приводом (73), який при зупинці когенераторної установки повністю відкривається і газ спалюється у факелі. У установці передбачено запобіжний пристрій зворотного удару полум'я (74) для попередження протитока газу і займання газу в каналах пальника [2].

На основі аналізу вищезазначених технологій для тримання біогазу з високою великою рогатої худоби обираємо одностадіну технологію, режим зброджування – мезофільний. Подача субстрату в метантенк здійснюється безперервно. Тривалість зброджування – 15 діб. Перемішування за допомогою механічного перемішувача пристрою пропелерного типу.

#### 1.4. Характеристика біологічного агента

Переробка сировини на метан відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях бактерій, що належать до групи археїв, відомих під загальною назвою метаногенів.

У XVII столітті Ян Батист Ван Гельмон виявив, що біомаса, яка розкладається, виділяє займисті гази. Алессандро Вольта в 1776 році прийшов

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			33

до висновку про існування залежності між кількістю біомаси та кількістю газу, що виділяється. В1808 році сер Хемфрі Деві виявив метан в біогазі. Перші установки для отримання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом. Найперша біогазова установка була побудована в Бомбеї, Індія в 1859 році. У 1895 році біогаз застосовувався в Великобританії для вуличного освітлення. У 1930 році, з розвитком мікробіології, були виявлені бактерії, які беруть участь в процесі виробництва біогазу.

Одна група мікроорганізмів, зазвичай звана кислотоутворюючими бактеріями, або бродильними мікроорганізмами, розщеплює складні органічні сполуки (клітковину, білки, жири і ін.) в більш прості, при цьому в середовищі з'являються первинні продукти бродіння - летючі жирні кислоти, нижчі спирти, водень, окис вуглецю, оцтова і мурашина кислоти і ін. Ці менш складні органічні речовини є джерелом живлення для другої групи бактерій - метаноутворюючих, які перетворюють органічні кислоти в необхідний метан, а також вуглекислий газ і ін.

У цьому складному комплексі перетворень бере участь велика кількість мікроорганізмів, за деякими даними - до тисячі видів, але головне з них все-таки метаноутворюючі бактерії. Метаноутворюючі бактерії значно повільніше розмножуються і більш чутливі до змін навколишнього середовища, ніж кислотоутворюючі мікроорганізми, тому спочатку в середовищі накопичуються летючі кислоти, а першу стадію метанового зброджування називають кислотною.

Як кислотні, так і метаноутворюючі бактерії зустрічаються в природі повсюдно, зокрема в екскрементах тварин. Вважається, що в гної великої рогатої худоби є повний набір мікроорганізмів, необхідних для його зброджування. І підтвердженням цьому є те, що в рубці і кишечнику жуйних тварин постійно йде процес метаноутворення. Отже, немає необхідності застосовувати для отримання біогазу чисті культури метаноутворюючих бактерій для того, щоб викликати процес бродіння. Достатньо лише

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			34

забезпечити для вже наявних в субстраті бактерій сприятливі умови для їх життєдіяльності.

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов: безкисневої атмосфери; відповідної температури маси, що зброджується; слабо-лужної реакції середовища; присутності бактерій, що виробляють метан.

Виділення метану із речовини, що піддається ферментації, проходить лише в анаеробних умовах.

За оптимальною температурою життєдіяльності метаноутворюючі бактерії можна розділити на три групи.

Термофільні бактерії більш продуктивні, ніж мезофільні. Завдяки цьому, при однаковій кількості виробництва біогазу за день, місткість ферментаційних резервуарів може бути значно меншою. Разом з тим, враховуючи необхідність підтримання більш високої температури маси, що бродить, витрати теплової енергії при реалізації термофільних процесів є значно вищими. При низькій температурі навколишнього середовища та недостатній ізоляції резервуара витрати теплової енергії можуть бути настільки великими, що біогазу, який виробляється, не вистачить для обігрівання бродильної маси. У зв'язку з цим у європейських кліматичних умовах ферментаційні камери звичайно працюють у мезофільному діапазоні температур.

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в метантенку є слабо-лужна реакція бродильного середовища, при цьому задовільним вважають рН на рівні 6-8 (оптимальне значення знаходиться в межах 7-7,5 рН). Надто лужна реакція сприяє ферментації через патогенне гниття, але викликає небажане виділення сірководню. У надто кислому середовищі (при ферментації побутових відходів, виділень свиней) метанове бродіння може зупинитись із блокуванням виділення біогазу.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

З метою уніфікації температури органічної речовини, що піддається ферментації, а також розповсюдження мікроорганізмів в біомасі, проводять систематичне її перемішування. Перемішування зброджуваної речовини попереджає місцеву ферментацію, що викликається патогенами [35].

Таким чином, анаеробне зброджування з отриманням біогазу є складним біотехнологічним процесом, який потребує подальшого удосконалення технологічного обладнання для забезпечення максимального виходу біогазу та підвищення економічної ефективності переробки гною в органічні добрива.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			36

## РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВРХ

### 2.1. Схема перебігу процесів метаногенезу

Метанове бродіння в промисловому застосуванні є біотехнологічним процесом, в результаті якого комплексна органічна речовина розпадається під дією біоценозу мікроорганізмів та їх ферментів з виділенням біогазу, що містить цільову сполуку – метан ( $\text{CH}_4$ ).

Згідно сучасних наукових уявлень [28-31], перетворення органічної речовини до кінцевих продуктів в процесі метанового бродіння відбувається в 4 основних етапи – гідролізу, кислотогенезу, ацетогенезу та метаногенезу:

I етап. Аеробні гідролізні бактерії перебудовують високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ферментів на низькомолекулярні з'єднання, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ферменти, виділені гідролізними бактеріями, прикріплюються до зовнішньої стінки бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Полімери (багатомолекулярні утворення) перетворюються на одномери (окремі молекули). На процес впливає рівень pH (оптимальний - 4,5-6) і час перебування в резервуарі.

II етап. Далі розщепленням займаються кислотоутворюючі бактерії. Окремі молекули проникають в клітини бактерій, де вони продовжують розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь аеробні бактерії, що споживають залишки кисню, створюючи при цьому необхідні для метанових бактерій анаеробні умови. При рівні pH 6-7,5 виробляються в першу чергу нестійкі жирні кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова),

					<i>ЕКБ.БЕ5104.ДП</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко Д.О</i>			РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ВРХ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С</i>					37	
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського. ФБТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Зубченко Л.С</i>						

III етап. Після цього воднепродукуючі бактерії з органічних жирних кислот створюють вихідні продукти для утворення метану: оцтову і мурашину кислоту, вуглекислий газ, водень. Такі бактерії, що знижують кількість вуглецю (в складі органічних кислот), є дуже чутливими до температури.

IV етап. На останньому етапі за допомогою метаноутворюючих бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню утворюється метан, вуглекислий газ і вода. 90 % всього метану виробляється на цьому етапі, причому 70 % метану утворюється з оцтової кислоти.

Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто III етап і в меншій мірі II етап) є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метаноутворюючі бактерії виключно анаеробні. В процесі розщеплення продукти переварювання (обміну речовин) кожної групи бактерій виступають живильними речовинами для наступної групи бактерій.

Розщеплення органіки на окремі складові і перетворення на метан може відбуватись лише у вологому середовищі, оскільки бактерії можуть переробляти лише речовини в розчиненому вигляді.

Таким чином, для бродіння твердих субстратів існує потреба у додаванні води [33].

Пофазне розщеплення органіки відбувається нерівномірно, адже різні групи бактерій працюють з різною швидкістю. Швидше за всіх працюють кислотоутворюючі бактерії, що розщеплюють органіку вже протягом часу від декількох годин до 2 днів. В ідеальному випадку між фазами розщеплення встановлюється динамічна рівновага в концентрації речовин, а саме: між подачею живильних речовин і їх розщепленням.

Найчастішою помилкою є перегодовування бактерій субстратом, який швидко розщеплюється, що призводить до накопичення кислот в результаті дії кислотоутворюючих бактерій. У зв'язку з цим може наступити дуже різке падіння рівня рН, якого не витримають інші види бактерій. Крім того,



надлишкова концентрація виробленої речовини призводить до затримки росту групи бактерій, що виробляють її.

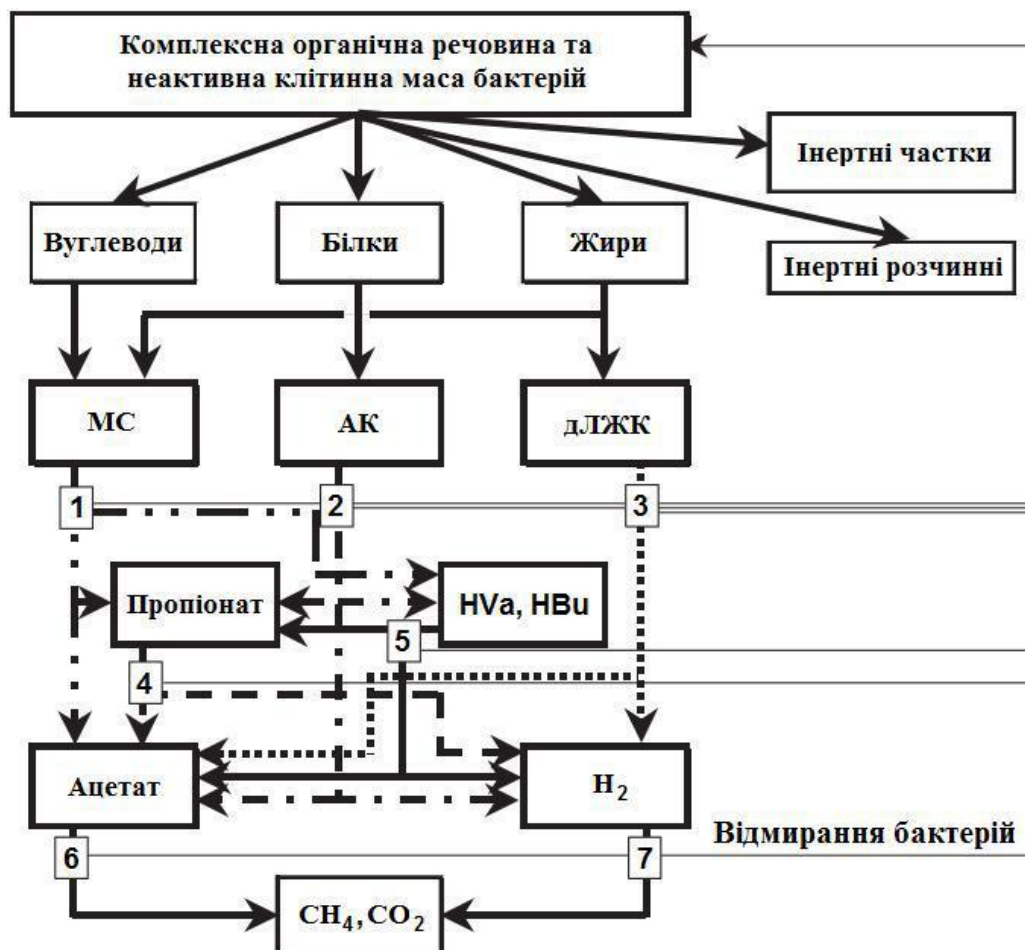
Динамічна рівновага також визначається легкістю розщеплення субстрату. Цукор і крохмаль, наприклад, через свою просту структуру розщеплюються дуже швидко і вимагають лише короткого часу перебування у ферментаторі.

Швидкість розщеплення субстратів має прямий вплив на технічно необхідний час для бродіння. Таким чином, вже при плануванні типу і конструкції біогазової установки варто чітко визначити, які субстрати використовуватимуться для бродіння.

Якщо ферментатор по-новому заповнити субстратом, то після проходження окремих фаз процесу розщеплення біогаз утворюється повільно. Кількість виробленого щодня біогазу зростає до того моменту, поки не буде досягнуто максимуму. В цей час субстрат, який легко розкладається, буде перероблений і бактеріям залишаться лише речовини, які важко переварювати.

Таким чином, кількість газу, що виробляється щодня, знижуватиметься до тих пір, поки не буде розщеплений весь доступний матеріал або поки субстрат не можна буде розщеплювати далі. Це і є той момент, коли кількість виробленого газу настільки мала, що довгострокове перебування субстрату у ферментаторі більше недоцільне з економічної точки зору.

На рисунку 2.1 показано схему процесів перетворення комплексної органічної речовини в біогаз.



**Рис. 2.1. Схема процесу метанового бродіння**

МС – моносахариди; АК – амінокислоти; ДЛЖК – довголанцюгові жирнікислоти; НVa, НBu – валерат та бутират, відповідно; 1 – кислотогенез з цукрів; 2 – кислотогенез з амінокислот; 3 – кислотогенез з ДЛЖК; 4 – ацетогенез з пропіонату; 5 – ацетогенез з валерату та бутирату; 6 – ацетокластичний метаногенез; 7 – водневотрофний метаногенез.

На початковому етапі відбувається дезінтеграція комплексної органічної речовини з утворенням 5 груп речовин, а саме: білків, жирів, вуглеводів, інертних розчинених речовин та інертних часток. Механізмами дезінтеграції є лізис, безферментний розпад, поділ фаз та фізичний розпад.

На етапі ацетогенезу, під дією ацетогенних груп бактерій, органічні кислоти (пропіонат, валерат, бутират) та ЛЖК розпадаються до ацетату, водню та вуглекислоти.

На завершальному етапі перетворення органічної речовини – метаногенезі – за участі водневотрофної групи метаногенів водень та вуглекислота перетворюються в метан і воду, а за участі ацетокластичних метаногенів в метан та вуглекислоту перетворюється ацетат.

Для ефективного перетворення органічної речовини в метан необхідно підтримувати збалансовану метаболічну активність різних груп бактерій [33].

Метаногенна група бактерій відіграє важливу роль завдяки контролю ними загальної швидкості розпаду органічної речовини та забезпечення трансформації вуглецю та електронів шляхом споживання токсичних проміжних сполук. Відтак, збільшення маси накопичених проміжних продуктів розпаду в реакційному середовищі може свідчити про пригнічення метаболізму метаногенів і, як наслідок, призвести до припинення виділення біогазу.

Вимоги до параметрів реакційного середовища для кислотоутворюючих бактерій та для метаногенних бактерій відрізняються. За умови, що всі етапи процесу здійснюється в одно-ступеневому реакторі, підтримання вимог для метаногенів зазвичай є пріоритетним [34].

Відомо, що близько 70% метану при бродінні є результатом життєдіяльності ацетокластичних метаногенів [35, 36], які разом з тим, серед груп бактерій, що приймають участь у перетворенні органічної речовини в процесі метанового бродіння [32], мають найнижчу швидкість росту та найбільш чутливі до зміни параметрів реакційного середовища [29, 34], а відтак, визначають стабільність та ефективність роботи біореактора [37]. В ряді робіт [36-39] вказується, що реакція ацетокластичного метаногенезу є лімітуючою і визначає загальну швидкість та стабільність процесу.

## 2.2. Характеристика біогазу

Біогаз - суміш газів. Його основні компоненти: метан ( $\text{CH}_4$ ) - 55-70% і вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) - 28-43%, а також в дуже малих кількостях інші гази, наприклад - сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

У таблиці 2.1 наведено склад компонентів біогазу.

Таблиця 2.1.

### Складові компоненти біогазу

Назва компоненту	Метан	Вуглекислий газ	Сірководень	Аміак	Водень
Позначення	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2$
Вміст у складі біогазу	92%	3%	0,05	0,05	4,9

Найбільш важливі для практичного застосування фізичні властивості біогазу такі: середня теплота згоряння біогазу, що містить близько 60% метану, дорівнює 22 МДж /  $\text{м}^3$ . Оскільки горюча частина біогазу складається з метану (температура займання метану близько  $645^\circ\text{C}$ ), його зараховують до сімейства природних газів.

Отриманий біогаз має відповідати вимогам визначеним у наступних документах: ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю», ДСТУ 7509:2014 «Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб», ДСТУ 4516: 2006 «Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові.».

Біогаз отриманий відповідно до запропонованої технології може бути використаний:

- на місці його виробництва у якості палива для когенераційних установок, при цьому отримують електр енергію і використовують відхідне тепло, яке при цьому утворюється;

- біогаз, очищений до якості природного газу (біометану), може використовуватися для спалювання в котельні безпосередньо на підприємстві або подаватися в загальну газорозподільну мережу, для транспортування біогазу до споживачів та енергонакопичувачів;

- очищений біогаз може використовуватися як паливо в двигунах внутрішнього згорання.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			43

## РОЗДІЛ 3.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1. Сировина та матеріали

В таблиці 3.1. представлено основні вимоги та характеристики сировини для отримання біогазу з відходів великої рогатої худоби.

Таблиця 3.1

#### Характеристика сировини та матеріалів для отримання біогазу з відходів ВРХ

Найменування	Категорія та номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що є обов'язковими для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина			
1.1.Гній великої рогатої худоби	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до постачання даної сировини	Анаеробне бродіння для отримання біогазу
1.2.Вода технічна	ГОСТ 23732-79	Кольоровість, каламутність, запах, рівень рН, жорсткість, вміст мікроорганізмів і бактерій, згідно ГОСТ	Для приготування мийного розчину та змішування сировини
2. Допоміжна сировина			
2.1.Хлорне вапно	ГОСТ 1692-85	Усі показники у відповідності до постачання даної сировини	Використання з метою миття обладнання
3. Напівфабрикати			

					ЕКБ.БЕ5104.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Гуленко Д.О				РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Зубченко Л.С						44	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.								
Затверд.	Зубченко Л.С							

4.1.Зброджена суміш	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до технологічного процесу	Для отримання біогазу у технологічному процесі
4.2. Фільтрат	Згідно технологічного регламенту	Усі показники у відповідності до технологічного процесу	Для фільтрації сировини та кінцевого продукту

Як бачимо з таблиці 3.1 основною сировиною для отримання біогазу є гній великої рогатої худоби. В якості допоміжної речовини використовується хлорне вапно. Технологічний процес потребує також застосування охолодженої та гарячої води, та напівфабрикатів, таких як зброджена суміш та фільтрат.

### **3.2. Опис технологічного процесу отримання біогазу з гною великої рогатої худоби**

ДР1. Підготовка обладнання

ДР1.1. Перевірка обладнання на герметичність

Перевірка обладнання на герметичність здійснюється шляхом нагнітання повітря під надлишковим тиском до 12 МПа в спорудах та трубопроводах, які мають працювати під надлишковим тиском або потребують герметизації. Повітря для нагнітання готують шляхом забору атмосферного повітря за допомогою виносних труб з точкою забору 5 м вище рівня землі, після чого повітря, що пройшло попередню підготовку подають на обладнання з метою виявлення порушень герметичності конструкцій і придатності до подальшого використання у технологічному процесі.

Перед подачею аераційного повітря здійснюються такі підготовчі операції: стиснення повітря; очищення від завислих у повітрі речовин; Для

компресування повітря в будівлі повітродувної станції встановлюється 2 робочих і 1 резервна повітродувки. Повітродувки обладнані двигуном, що забезпечує стиснення повітря. Здійснюється щогодинний технологічний контроль робочого тиску та витрат повітря в системі за допомогою технічного манометру та труб Вентурі відповідно.

#### ДР 1.2 Миття обладнання

Перед запуском реактора при впровадженні в експлуатацію в або після ремонту необхідно проводити миття обладнання. Заздалегідь підготовлені миючі розчини подаються до обладнання по трубопроводам. Промивка основних конструкцій здійснюється протягом 20 хв, після чого відпрацьовані розчини зливають в загальний стік каналізації на підприємстві.

#### ДР2. Підготовка розчину NaOH.

Розчин NaOH, який використовується для очищення біогазу від вуглекислого газу, готують шляхом розчинення твердого лугу в технічній воді в реакторі-змішувачі. Необхідна концентрація лугу – 10 %. Розчин подається на стадію ТП7.2.

#### ДР3. Підготовка сировини.

##### ДР3.1. Подрібнення сировини.

Для забезпечення необхідного ступеня подрібнення  $d=1-3$  мм використовується молоткова дробарка. Контроль подачі сировини здійснюється автоматично за масою та об'ємом.

##### ДР3.2 Розбавлення сировини водою

Розбавлення подрібненої сировини водою для доведення до необхідної вологості здійснюють в змішувачі, в який подається очищена вода від ПВ 9 та, за необхідності технічна вода. Необхідна вологість сировини для зброджування – 98%.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



#### ТП 4 Одержання біогазу.

Сировину подають в метантенк для анаеробного зброджування за допомогою шнекового транспортера. Для регулювання значення рН в метантенк подають  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , який утворюється в ректифікаційній колоні при очищенні біогазу від вуглекислого газу.

Зброджування відбувається в мезофільному режимі. Температура підтримується на рівні  $36 \pm 5^\circ\text{C}$  шляхом подавання гострої пари в метантенк.

Пара генерується в когенераційній установці при спалюванні біогазу.

рН в процесі зброджування підтримують на рівні 4,5-7,4. Тривалість зброджування – 15 діб.

Одержаний біогаз направляється до ТП 6.

#### ТП 5.Відділення твердої фракції.

Розділення зброженої суміші на рідку і тверду фракцію здійснюють на шнековому сепараторі. Фільтрат відводиться до ПВ9. Кек направляють до ПВ 8 на складування звідки на вивезення.

#### ТП 6. Накопичення біогазу в газгольдерах.

Біогаз від ТП 4 надходить до газгольдерів, де зберігається за тиску 0,5 МПа, звідки згодом подається на очистку до ТП7. Прийнять встановлення двох газгольдерів з розрахунку на тривалість накопичення біогазу до 1 доби. Об'єм газгольдера становить  $1000 \text{ м}^3$ .

#### ТП 7.Очищення біогазу.

##### ТП 7.1. Очищення біогазу в абсорбері з водою.

До абсорбера подається трубопроводом технічна вода та газ з газгольдерів від ТП 6. В газгольдері з водою відбувається видалення основної кількості сірководню та невеликої кількості вуглекислого газу. Для ефективного

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			47

очищення пропускання біогазу крізь воду має відбуватися під тиском 1-3 МПа. Проводиться технічний та хімічний контроль показників процесу. Відпрацьована вода зливається в каналізацію.

#### ТП 7.2.Очищення біогазу в абсорбері з NaOH.

До абсорбера подається трубопроводом 10% розчин NaOH від ДР 2 та біогаз після очищення в абсорбері з водою. Залишкові концентрації сірководню та вуглекислого газу становлять  $\text{CH}_2\text{S} < 0,01-0,05\%$ ,  $\text{CCO}_2 < 3\%$ . Технічний та хімічний контроль показників процесу. Розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , що утворюється на цій стадії, використовують для корекції pH в метантенку.

Після очищення залишковий вміст  $\text{CO}_2$  становить  $< 3\%$ ,  $\text{H}_2\text{S} < 0,05\%$ .

#### ТП 7.3.Осушування біогазу.

Осушення біогазу відбувається на механічному фільтрі-осушувачі. Конденсат, що утворився під час осушування біогазу подається на ПВ 9. Залишкова вологість має становити не більше 0,5 %.

#### ТП 7.4. Спалювання біогазу в когенераційній установці.

Спалювання біогазу відбувається в когенераційній установці. Для спалювання також необхідно подавати повітря для підтримання процесу горіння. В результаті спалювання біогазу отримують електричну енергію. Теплота нагрітих газів використовується для підготовки пари, яка подається на ДР 3.1. – в метантенк для підтримання оптимальної температури. Вихлопні гази, що утворюються в процесі спалювання викидають в атмосферу.

#### ПВ 8.Складування КЕКу .

КЕК, що утворився при розділенні зароджуваної суміші, накопичують на майданчику, звідки він вивозиться і може бути використаний як добриво.

#### ПВ 9.Накопичення рідких відходів для розбавлення сировини.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			48

Конденсат та фільтрат з шнекового сепаратора направляються в збірник, звідки можуть подаватися на ДР 3.2 для розбавлення сировини до необхідної вологості.

Проводиться технологічний та хімічний контроль.

### 3.3. Контроль виробництва

Розглянемо необхідні параметри контролю виробництва біогазу з відходів ВРХ. Результати представимо у вигляді таблиці 3.2

Таблиця 3.2

#### Точки та параметри контролю виробництва біогазу

Назва стадії, процесу, місце заміру	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип прилада
ДР1. Підготовка обладнання	Герметичність, надійність	Перед кожним запуском, потребує постійного контролю	Повна відповідність технічних характеристик	Автоматичний контроль, контроль з боку персоналу	Автоматично, в оглядовому режимі
ДР1.1. Перевірка обладнання на герметичність	Герметичність	Безперервно, під час кожного запуску	Повна герметичність	Автоматично	Автоматично, згідно показанням датчиків
ДР 1.2 Миття обладнання	Температура розчину	Температура вимірюється безперервно під час операції	$T=40^{\circ}\text{C}$	$K_T$	Автоматичне вимірювання температури

ДР2. Підготовка розчину NaOH	Концентрація	Кожна операція	C=1%	K <sub>x</sub>	Дозатор, змішувальн ий посуд
ДР3. Підготовка сировини.	Температура, концентрація	Кожна операція	T=36-38 <sup>0</sup> C	K <sub>T</sub>	Автоматичн е регулюванн я
ДР3.1. Подрібнення сировини	Розмір часточок	Кожна операція	d=1-3	K <sub>T</sub>	Автоматичн е регулюванн я
ДР3.2 Розбавлення сировини водою	Вологість	Кожна операція	5%	K <sub>T</sub>	Автоматичн о
ТП4 Одержання біогазу.	Тиск значення рН	Кожна операція	4,5-7,4	K <sub>T</sub>	Автоматичн о
ТП5.Відділен ня твердої фракції.	Відповідність технологічно му режиму	Кожна операція		K <sub>T</sub>	Автоматичн о
ТП 6. Накопичення біогазу в газгольдерах.	Тиск	Кожна операція	3.5·10 <sup>3</sup> Па,	K <sub>T</sub>	Манометр
ТП 7.1. Очищення біогазу в абсорбері з водою.	Тиск	Кожна операція	1-3 МПа.	K <sub>T</sub>	Автоматичн о

ТП 7.2.Очищення біогазу в абсорбері з NaOH.	Концентрація	Кожна операція	$\text{CH}_2\text{S} < 0,01 - 0,05\%$ , $\text{CCO}_2 < 3\%$ .	$K_T$	Автоматичн о
ТП 7.3.Осушуван ня біогазу.	Вологість	Кожна операція	не більше 0,5 %.	$K_T$	Автоматичн о
ТП 7.4. Спалювання біогазу в когенераційні й установці.	Потужність	Кожна операція	30-35 кВт	$K_T$	Вольтметр
ПВ 8.Складуванн я КЕКу .	Відповідність технологічни м нормам	Кожна операція		$K_T$	Технічний та хімічний контроль
ПВ 9.Механічне очищення рідких відходів.	Відповідність технологічни м нормам	Кожна операція		$K_T$	Технічний та хімічний контроль

### 3.4. Матеріальний баланс

Розрахуємо матеріальний баланс запропонованої біогазової установки.  
Отримані дані наведемо у вигляді таблиці.

Таблиця 3.3

## Матеріальний баланс

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість	Стадія	Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та втрат	Кількість
ДР3.1	Гній ВРХ	100 т	ДР3.1	Гній ВРХ	100т
ДР3.2	Гній ВРХ	100 т	ДР3.2	Реакційна суміш	500 т
	Технічна вода	400 т			
	Всього:	500 т		Всього:	500 т
ТП4.2	Реакційна суміш	500 т	ТП4.2	Зброджена суміш	498т
				Біогаз	1,527 т
				Втрати	0,473 т
	Всього	500 т		Всього	500т
ТП7	Біогаз	1,527 т	ТП7	Очищений біогаз	1451 м <sup>3</sup>
				Домішки (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S)	0,076 т
Всього		1,527 т			1,527 т

За розрахунками, впровадження біогазової установки дозволить отримати до 1,451 м<sup>3</sup> очищено біогазу за одну операцію, який може використовуватися на потреби підприємства.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			52

## РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

Для розрахунку основних параметрів біогазової установки необхідно знайти значення наступних показників:

Добовий вихід гною (екскрементів), кг:

$$m_{\text{сутэк}} = N_{\text{ж}} \cdot m_{\text{уд}}, \quad (4.1)$$

де  $N_{\text{ж}} = 2000$  - кількість тварин, голів;

$m_{\text{уд}} = 50$  кг питомий вихід екскрементів на добу;

$m_{\text{доб}} = 100000$  кг/доб

Для розрахунку об'єму метантенку використаємо наступну формулу:

$$V = \frac{M_{\text{общ}} \cdot 100}{D} \quad (4.2)$$

де  $M_{\text{общ}}$  – загальний обсяг сировини, м<sup>3</sup>/доба,;

$D$  – добова доза завантаження сировини в метантенк, %, приймається рівним 10%.

Загальний об'єм сировини визначається виходячи з необхідної вологості для зброджування. Для зброджування субстрату прийнята вологість становить 98%.

Розрахуємо загальну масу сировини після розбавлення та необхідну кількість води.

Враховуючи, що маса сухих речовин на 50 кг гною становить 5 кг, то маса розбавленої до вологості 98% сировини становить на одиницю поголів'я:

$$m_{98\%} = (m_{\text{ср}} \cdot 100) / 2 = 250 \text{ кг/добу}$$

Об'єм сировини без розбавлення становить:

$$M_{\text{св}} = 50(1 - (90/100)) = 5 \text{ кг}$$

тоді маса води, яку необхідно додати для забезпечення вологості 98% становить на одиницю поголів'я:

$$m_{\text{води}} = (m_{98\%} - m) = 250 - 50 = 200 \text{ кг}$$

					ЕКБ.БЕ5104.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4.ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Гуленко Д.О					54	
Перевір.		Зубченко Л.С						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Зубченко Л.С				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

Загальна маса води для розбавлення:

$$m_{\text{води заг}} = 200 \cdot 2000 = 400000 \text{ кг/добу}$$

Об'єм води для розбавлення:

$$V_{\text{води заг}} = m_{\text{води заг}} / \rho_n = 400000 / 1000 = 400 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Загальний об'єм сировини після розбавлення становить:

$$V = (m_{98\%} / \rho_n) \cdot 180 = (250 / 1000) \cdot 2000 = 0,25 \cdot 2000 = 500 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$m_{98\%, \text{заг}} = 250 \cdot 2000 = 500\,000 \text{ кг/добу}$$

Тоді загальний об'єм метантенка становить:

$$V_{\text{заг}} = (500 \cdot 100) / 10 = 5000 \text{ м}^3$$

Д – добова доза завантаження осаду в метантенк, %, прийнятий на рівні 10%.

Обираємо два типових метантенка об'ємом 2500 м<sup>3</sup>.

Маса сухої речовини, що зброджується в метантенку становить:

$$m_{\text{ср}} = 2 \cdot 5000\,000 / 100 = 100\,000 \text{ кг}$$

Тоді добовий вихід біогазу становитиме, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{пол}} = n_{\text{эк}} \cdot m_{\text{СОВ}} = 0,315 \cdot 100\,000 / 15 = 31\,500 / 15 = 2\,100 \text{ м}^3$$

де  $n_{\text{эк}}$  - вихід біогазу з 1 кг СОР вихідного матеріалу до маси складає: 0,315 м<sup>3</sup>/кг,

Приймаємо час накопичення біогазу не більше 1 доби. Приймаємо 2 типові газгольдини об'ємом 1000 м<sup>3</sup>.

Далі проводиться тепловий розрахунок метантенка:

7. Кількість теплоти, необхідна для підігріву маси, що завантажується, до температури бродіння на добу, МДж:

$$Q_{\text{под}} = m_{\text{сутэк}} \cdot C_c \cdot (T_{\text{пр}} - T_{\text{заг}}) \cdot \frac{1}{\eta} = 5\,000\,10^3 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3}$$

де  $C_c$  - середня теплоємність субстрату, МДж / кг ° К;

$T_{\text{пр}}$  - температура процесу зброджування, °К;

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			



$T_{zag}$  - температура субстрата, який завантажується °K;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії процесу;;

Температура маси, яка завантажується, залежить від способу завантаження гною в метантенк: якщо маса надходить безпосередньо з тваринницького приміщення, то температура її буде такою ж, як всередині приміщення; якщо масу беруть з гноєсховища, то її температура залежить від зовнішнього повітря.

Для розрахунків можна прийняти  $T_{zag} = 288$  ° K, середню теплоємність гною  $4,18 \cdot 10^{-3}$  МДж / кг · ° K, коефіцієнт корисної дії процесу - 0,7.

$$Q_{під} = 100 \cdot 10^3 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot (309 - 288) \cdot 0,7 = 6144 \text{ МДж}$$

8. Кількість теплоти, що втрачається субстратом в процесі тепловіддачі через стінку реактора в навколишнє середовище за годину, Вт:

$$Q_{пот} = k \cdot F \cdot (T_{np} - T_{сред}) = 1 \cdot 1046 \cdot (36 - 30) = 6276 \text{ Вт/ год (літом)}$$

$$Q_{пот} = k \cdot F \cdot (T_{np} - T_{сред}) = 1 \cdot 1046 \cdot (36 - (-5)) = 42886 \text{ Вт/ год (зимою)}$$

$$Q_{пом.сер} = (6276 + 42886) / 2 = 24581 \text{ Вт/год}$$

$$\text{В МДж } Q_{пом.сер} = 88,5 \text{ МДж}$$

де  $k$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт / м<sup>2</sup> · ° K;

- температура навколишнього повітря, ° K;

$F$  - площа поверхні теплообміну метантенка, м<sup>2</sup>;

$$S_M = \Pi_M \cdot H + \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot D \cdot H + \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot D \cdot \left( H + \frac{D}{4} \right).$$

$$F = 3,14 \cdot 18 \cdot (14 + (18/4)) = 1046 \text{ м}^2$$

Втрати теплоти через стінки реактора розраховуються для найхолодніших і найтепліших доб року (наприклад  $T_{сред} = 30$  ° C і  $T_{сред} = -5$  ° C), далі для наближених розрахунків можна вважати, що теплові втрати в середньому за добу року рівні середньому арифметичному цих величин. .

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

9. Визначають витрати енергії на перемішування біомаси  $Q_{мех}$ . На підставі експериментальних даних витрати енергії на перемішування механічними мішалками можна прийняти рівними 30 ... 60 Вт / м<sup>3</sup> при режимі 5 годин роботи і 7 годин паузи = 810 МДж

10. Загальні витрати енергії на підтримку процесу за добу:

$$Q_{обц} = Q_{под} + Q_{пот} + Q_{мех} = 6144 + 88,5 + 810 = 6144 + 88,5 + 810 = 7042 \text{ МДж}$$

де  $t_{раб}$  - час роботи механічної мішалки за добу.

11. Потенційні запаси енергії біогазу, виробленого на добу::

$$Q_{выр} = V_{б} \cdot C_{б} = 2100 \cdot 22 = 46200$$

де  $C_{б}$  - теплотворна здатність біогазу, МДж / м<sup>3</sup>..

12. Енергетичний ефект установки::

$$\mathcal{E}_{б} = Q_{выр} - Q_{обц} = 46200 - 7042 = 39158 \text{ МДж}$$

13. Коефіцієнт товарності біогазової установки:

$$K_{тов} = \frac{Q_{выр} - Q_{обц}}{Q_{выр}} \cdot 100\%$$

$$K_{тов} = 39158 / 46200 \cdot 100 = 84,8$$

## РОЗДІЛ 5.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Установки для виробництва біогазу в ряді випадках можуть виступати джерелом небезпеки:

1) при вдиханні концентрованого біогазу та затримання його на певний час, може викликати смерть внаслідок отруєння або задухи. Не очищений від сірки біогаз, має сильний токсичний вплив. Найбільш небезпечна ситуація, коли при високій концентрації сірки, гнильний запах сірководню більше не сприймається людиною як небезпека;

2) очищений від сірки біогаз, також може привести до летального результату через удушення від нестачі кисню. Біогаз легший за повітря (щільність = 1,2 кг / нм<sup>3</sup>), але схильний до розшарування. При цьому важкий вуглекислий газ збирається (щільність = 1,85 кг / нм<sup>3</sup>) внизу, а більш легкий метан (щільність = 0,72 кг / нм<sup>3</sup>) піднімається до верху;

3) біогаз в суміші з повітрям, при його концентрації від 6 до 12% і тепловим джерелом більш 700°C, - вибухонебезпечний, також небезпека вибуху виникає при концентрації біогазу в повітрі більше 12% (без джерела запалювання);

Таблиця 5.1

### Токсична дія сірководню (загальні хімічні показники)

Концентрація в повітрі					Вплив			
0,03-0,15 ppm *					Хвиля сприйняття, запах тухлих яєць.			
15-75 ppm					Роздратування очей, нудота, блювота, головний біль			
150-300 ppm Δ 0,015-0,03%					Параліч нервів			
> 375 ppm Δ 0,038%					Смерть внаслідок отруєння (через декілька годин)			
> 750 ppm Δ 0,075%					Втрата свідомості і смерть від зупинки дихання протягом 30-60 хвилин			

	хвилин
Від 1000 ppm $\Delta$ 0,1%	Миттєва смерть через параліч органів дихання протягом декількох хвилин

\*Ppm = Parts per million (з англ. частинок на мільйон) = 0,0001%.

Для захисту від можливого потрапляння умовно-патогенної та патогенної мікрофлори потрібно використовувати засоби індивідуального захисту.

4) небезпека при експлуатації біогазових установок може виходити від електричних приладів, обертових частин установки, трубопроводів і резервуарів під тиском.

Наявність вогнегасників, пожежної сигналізації, клапанів для спуску надлишкового газу на обладнанні (в метантенку на трубопроводах) є необхідними заходами роботи з біогазовою установкою.

Дотримання відповідних правил і норм техніки безпеки може обмежити ступінь небезпеки, що виходить від біогазового обладнання.

Були розроблені «Правила техніки безпеки для біогазових установок» спеціально для обладнання з виробництва біогазу. Всі біогазові установки підлягають цим нормам техніки безпеки і повинні виконувати закладені в них вимоги.

Рекомендується, вже на стадії проектування і конструкторського опрацювання біореакторів, дотримуватися зводу цих правил техніки безпеки, щоб не довелося згодом, при запуску і експлуатації біогазового устаткування, задіяти непередбачені інвестиційні вкладення.

Вимоги, закони та приписи з техніки безпеки викладені в таблиці 5.2.

*Таблиця 5.2*

#### Документи, що регулюють експлуатацію біогазових установок

Регульовані питання	Закони, розпорядження
Безпека під час	Закон про безпеку при роботі

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			58

будівництва і експлуатації	зобладнанням і на виробництві; Норми з безпеки при роботі з вибуховими речовинами BGR 104, BGR 132; Безпека експлуатації підприємства; Європейські нормативи 94/9 / ЄС; Норми щодо запобігання нещасних випадків і профспілкові вимоги.
Безпека при роботі з технікою на виробництві.	Закон про безпеку при роботі з технікою і на виробництві, Європейські норми. Норми для роботи з технікою і на виробництві: мінімальні вимоги GPSGV 1 норми при роботі з низькою напругою GPSGV 9; Норми щодо поводження з технікою. GPSGV 11 і 14.
Техніка безпеки працівників на робочому місці.	Закон про захист праці. Норми про безпеку роботи підприємства. Норми про роботу з біоречовинами. Норми щодо запобігання нещасних випадків на робочому місці. Норми потехніці безпеки і збереженню здоров'я.

Правила і норми техніки безпеки, при роботі з біогазовим обладнанням, сільськогосподарського, промислового і індивідуального призначення, дають деталізовані вказівки щодо безпечної експлуатації окремих вузлів біогазових

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

установок, комплектації технічних приміщень по розміщенню біогазових установок, прийому і здачі виконаних робіт, правильної організації зон підвищеної небезпеки (вибухонебезпечних ділянок), запобігання нещасним випадкам та травматизму.

До цих правил додаються вимоги з охорони праці, оскільки на біогазових установках працює окремий персонал.

Роботодавець зобов'язаний надати документ з вибухонебезпечними зонами, по якому можна було б визначити:

1. наскільки велика небезпека освіти вибухонебезпечних сумішей на виробництві і місце їх можливого виникнення;

2. заходи вживаються для мінімізації цієї небезпеки.

Робота з біогазовою установкою вимагає суворого дотримання спеціальних правил, що визначається двома основними положеннями.

Працівники повинні дотримуватися таких правил.

1. Кожен робітник працює на постійному місці, виконуючи завдання індивідуально.

2. На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів.

3. Робітник повинен працювати тільки в чистих халатах, волосся повинне бути підібрані, не падати на плечі.

4. При роботі з культурами мікроорганізмів необхідно дотримуватися всіх правил мікробіологічної техніки.

5. Всі предмети, використані при роботі з живими культурами, повинні бути знезаражені або обпаленням в полум'я пальника (петлі, голки), або занурені в дезінфікуючий розчин (предметні і покривні скла, піпетки, шпателі).

6. Всі засіяні пробірки, чашки збожеволіють в термостат. Відпрацьований матеріал (пробірки, чашки Петрі) також міститься в певні ємності для їх подальшого знезараження.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			60

7. У лабораторії забороняється куріння, прийом їжі, зайве ходіння по лабораторії.

Навколо зброджу вальних реакторів газових накопичувачів необхідно передбачати захисні зони, з діючою заборорою відкритого пламеню, іскри, куріння. Захисна зона і прилегла територія повинна бути забезпечена заборонними табличками.

В залежності від обсягу виробленого біогазу, типу будови резервуара і використаних них при будівництві матеріалів розміри захисної зони облаштовують від 1,5 до 20 м.

Захисні дистанції визначаються, в залежності від небезпеки, при можливому вибуху:

- зона 0 - в якій, при порушенні робочих режимів і техніки безпеки, постійно існує небезпека вибуху;

- зона 1 - територія, на якій час від часу може виникнути вибухонебезпечне середовище з різних газів (наприклад близько горловини продувочного трубопроводу, газових факелів);

- зона 2 - територія на якій неможлива вибухонебезпечне середовище з газів.

Вибухонебезпечні зони (1 і 2) обов'язково документуються на плані вибухонебезпечних зон. План подається разом з документами з планування будівництва в належні контрольні органи, для видачі дозволу на будівництво.

Запірна арматура і газопроводи повинні проходити перевірку на непроникність. Вони повинні бути корозійностійкими до робочого середовища, на практиці зазвичай виготовляються з нержавіючої або оцинкованої сталі, полівінілхлориду та поліетилену (витримує високий тиск). Кольорові метали не застосовуються, зважаючи на їх нестійкості до вприву біогазу.

Трубопроводи зі штучних матеріалів дозволяється застосовувати і в якості сполучних ліній ферментатора і газгольдера. Трубопроводи і арматура

призначені для рівня номінального тиску PN 6 і повинні перебувати в тепловій зоні.

Газопроводи повинні бути марковані відповідними обозначеннями напрямку потоку руху і пофарбовані в жовтий колір.

Запірна арматура повинна бути забезпечена безпечним доступом. Вентилі для газозабору повинні мати запобіжники від несанкціонованого відкривання.

Шибери в насосних шахтах повинні бути виконані, так щоб їх можна було обслужити без заходження в шахту.

Сепаратори для конденсату і запобіжні пристрої повинні знаходитися доступному місці. Доступ до працюючих під тиском пристроїв, повинен бути простим для обслуговування, а також ці прилади зобов'язані мати захист від промерзання і витікання робочої рідини.

Газгольдери і газові резервуари повинні забезпечуватися обмежувачами граничного тиску газу. Гідрозапори повинні бути захищені від промерзання і витікання. Зливний трубопровід запобіжника граничного тиску повинен виходити в навколишнє середовище.

Територія, на відстані 1 м навколо горловин є захисною зоною 1.

Установка газових котлів повинна відповідати технічним правилам по установці газового обладнання. Приміщення для генераторів повинні мати площі, що дозволяють мати вільний доступ до генетору з 3 сторін.

Двері повинні відкриватися у напрямку виходу з приміщення. Донні сливи повинні бути оснащені сепараторами масла.

Приміщення, в яких установлюються обладнання і генератори повинні мати перехресну вентиляцію з припливом.

Вимикачі генератора і газозапірна вентиляція повинні знаходитися поза технічного приміщення, щоб була можливість відключити агрегат в будь-який час.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			62



Вогнегасник на 12 кг порошку і захисний ковпак для пожеж категорій А, В і С згідно DIN EN 319 повинен знаходитися в добре видному місці у приміщенні біля генератора.

Перед запуском біогазова установка проходить експертний висновок. Орган, який видає дозвіл перед запуском біогазової установки повинен отримати свідоцтво про перевірку на непроникність газгольдера з вказівками міцності на розрив, щодо метану і стійкості використаного матеріалу плівки до температури, необхідно надати зразок матеріалу плівки.

Також обов'язковим є наявність протоколу про прийняття з боку експерта в газовій галузі, яке б свідчило що газова установка, включаючи всі газопроводи відповідає всім загальноприйнятим правилам безпеки техніки, а також вимагає підтвердження цього з боку фахівця з електротехніки про те, що електричне обладнання відповідає вимогам безпечної експлуатації.

Дотримання всіх правил безпеки дозволить зменшити небезпеку при роботі з газовим обладнанням та мінімізує можливість отримання травм на виробництві.

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			63

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що гній ВРХ є перспективним субстратом для зброджування з метою отримання біогазу. Співвідношення C:N= , що дозволяє використовувати гній як моносубстрат. Гній одночасно виступає як сировина і інокулят. Для забезпечення необхідної вологості гній ВРХ потребує розбавлення.

2. Проаналізовано існуючі технології виробництва біогазу та обрано одностадіну технологію, режим зброджування – мезофільний. Подача субстрату в метантенк здійснюється безперервно. Тривалість зброджування – 15 діб. Перемішування за допомогою механічного перемішуючого пристрою ;

3. Проаналізовано біохімічні перетворення, що відбуваються під час процесу зброджування відходів ВРХ

4. Розроблено технологічну схему виробництва біогазу з гною ВРХ, відповідно до якої подрібнений гній зброджують в метантенку. Зброджений осад зневоднюється на шнековому сепараторі. Отриманий біогаз підлягає двоступеневій очистці в абсорбері з водою та NaOH. Після очистки та зневоднення біогаз спалюється в когенераційній установці. Розроблено креслення апаратурної та технологічної схем;

5. На основі розрахунків обрано метантенк об'ємом 2500 м<sup>3</sup>, з діаметром 18 м, висотою 14 м для зброджування суміші жому та гною ВРХ. Добовий об'єм біогазу – 2 100 м<sup>3</sup>. Розроблено креслення метантенка. Розраховано матеріальний баланс процесу виробництва біогазу.

6. Розглянуто основні заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища, які потрібно враховувати на підприємстві по виробництву біогазу. роботі з біогазовими установками

					ЕКБ.БЕ5104.ДП				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Гуленко Д.О			ВИСНОВКИ		Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Зубченко Л.С						60	
Реценз.							КПІ ім.. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.									
Затверд.		Зубченко Л.С							

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pranas Baltrėnas, Alvydas Zagorskis, Antonas Misevičius, Jurij Matvejev, Pioter Kuceruk. Biogas and methane output experimental research in periodical bioreactor processing livestock manure and its mixtures // *Ciência e Técnica*. – 2015. –30, №2.– P. 267-280.

2. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В., Грабовський М.Б. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні // *Пром. теплотехника*. – 2013. – 35, №1. – С. 107-113.

3. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В., Гелетуха Г.Г., Морозова Є.В., Перерва Є.С. Дослідження ефективності сумісного зброджування гною свиней та силосу кукурудзи // *Механізація, екологізація і конвертація біосировини в тваринництві*. – 2011. – 8, №2. – С. 45-53.

4. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В. Дослідження ефективності метаногенезу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з рослинними рештками // *Відновл. енергетика*. – 2010. – 20, №1. – С.83-89.

5. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Кучерук П.П., Олейник Е.Н., Трибой А.В. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 1 // *Пром. теплотехника*. – 2015. – 37, №2. – С. 68-76.

6. Олейник Е.Н., Кучерук П.П., Плугатар О.А. Отходы сельского хозяйства как источник альтернативной энергии // *Труды 6-й Международной научно-технической конференции “Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве”*. – Москва, 2008 – С. 141-145.

7. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Мушинская И.М., Ходаковская Т.В. Оценка потенциала производства биогаза в Украине // *Материалы 7-й Международной конференции “Сотрудничество для решения проблемы отходов”*. – Харьков, 2010 – С. 100-101.

					<i>ЕКБ.БЕ5104.ДП</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко Д.О</i>			ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Зубченко Л.С</i>					<i>61</i>	
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Зубченко Л.С</i>						

утилізації біогазу станцій анаеробного зброджування сільськогосподарських відходів // Пром. теплотехника. – 2009. – 31, №4. – С. 98-104.

9. Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбирання проб: ДСТУ 7509:2014. – [Чинний від 2014-09-16]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2015. – 9 с. – (Національний стандарт України). (РОЗРОБНИКИ: О. Григорович, Г. Голуб, С. Драгнєв, В. Дубровін, О. Дубровіна, Г. Забарний, Б. Кочірко, С. Кудря, П. Кучерук, Ю. Матвєєв, В. Поліщук, В. Таргоня, В. Тимошук)

10. Методика узагальненої оцінки техніко-досяжного енергетичного потенціалу біомаси / Дубровін В.О., Голуб Г.А., Драгнєв С.В., Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Матвєєв Ю.Б., Кучерук П.П., Кудря С.О., Забарний Г.М., Маслюкова З.В. – К.: Тов. «Віол-принт», 2013. – 25 с.

11. Кучерук П.П. Дослідження кінетичних параметрів при періодичному метановому бродінні суміші гнойових відходів та силосу кукурудзи // Відновл. енергетика. - 2016. - №1. - С.73-78.

12. Сидорчук О.В. Розробка комплексної технології отримання біогазу із багатокомпонентних субстратів: автореф. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 03:00:20 «Біотехнологія» / О.В. Сидорчук. – Одеса, 2013. – 24 с.

13. Таргоня В.С. Біотехнологічні основи створення сільськогосподарських біоконверсних комплексів. 03.00.20-біотехнологія [Текст] : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук / В. С. Таргоня. - К. : НУБІПУ, 2011. - 45 с.

14. ВНПТ-АПК-09.06. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною / «УкрНДІагропроект» Міністерства аграрної політики України. - Київ, 2006. – 100 с. (Відомчі норми технологічного проектування).

15. Відкриття біогазової установки на Теофіпольщині / Офіційний сайт Теофіпольської районної державної адміністрації. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rdatf.gov.ua/news/id/2931>

					ЕКБ.БЕ5104	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис			

16. В Україні в 2017 році вступили в дію 4 біогазові установки / Інфоіндустрія. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://infoindustria.com.ua/v-ukrayini-v-2017-rotsi-vstupili-v-diyu-4-biogazovi-ustanovki/>

17. Гелетуха Г.Г. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні // Г.Г. Гелетуха, П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев // Аналітична записка БАУ № 4. – 2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-4-ua.pdf>

18. Гроші із сміття. Біогазові установки дозволяють великим компаніям і селянам не купувати газ та електроенергію / Біогаз, технології, агропром, досвід, економіка, енергетика, екологія, газ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://texty.org.ua/pg/article/editorial/read/62202/Groshi\\_iz\\_smitta\\_Biogazovi\\_ustanovky\\_dozvolajut\\_velykym](http://texty.org.ua/pg/article/editorial/read/62202/Groshi_iz_smitta_Biogazovi_ustanovky_dozvolajut_velykym)

19. Калетнік Г.М. Доцільність виробництва біогазу в Україні // Г.М. Калетнік, О.П. Скорук, А.А. Ратушняк. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.rusnauka.com/34\\_NIEK\\_2010/Economics/75102.doc.htm](http://www.rusnauka.com/34_NIEK_2010/Economics/75102.doc.htm)

20. Прейскурант на природний газ / Нафтогаз України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Naftogaz-gas-prices-ne-PSO-April-2018.pdf>

21. Продуктування біогазу та органічних добрив в агровиробництві / Альтернативні джерела енергії. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://pidruchniki.com/73010/ekologiya/produktuvannya\\_biogazu\\_organichnih\\_dobriv\\_virobnitstvi](http://pidruchniki.com/73010/ekologiya/produktuvannya_biogazu_organichnih_dobriv_virobnitstvi)

22. Токарчук Д.М. Виробництво і використання біогазу в Україні: економічні і соціальні перспективи // Д.М. Токарчук, О.В. Яремчук // Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету 2013. – Збірник 22. Том 3. – С. 338-346

23. Поліщук В.М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Сидорчук, О.В.

Поліщук//Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. - Київ, 2013. - № 185. Ч. 3 - С. 180-191.

24. Поліщук В.М. Поступова подача субстрату в біогазовий реактор/В.М. Поліщук, В.О. Дубровін, М.М. Лободко, Д.Ю. Ляшко // Науковий огляд. - № 7(8). - К.: ТОВ «ТК Меганом», 2014. -С. 45-51.

25. Полищук В.Н. Исследование процесса постепенной подачи субстрата в метантенк биогазовой установки/В.Н. Полищук, В.А. Дубовин, А.В. Полищук// Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». - Т. 4. - 2014. - С. 265-269.

26. Полищук Виктор. Влияние режимов метанового сбраживания на эффективность производства биогаза / Виктор Полищук, Николай Лободко, Ольга Дубровина// MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. - Lublin - Rzeszow, 2013. -Vol. 15, No 3. - С. 207-220.

27. Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Частина 1. Установа для одержання біогазу. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв» для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр” зі спеціальності 8.10010203 - “Механізація сільського господарства”/В.М. Поліщук, В.О. Дубровін, С.В. Драгнєв, М.М. Лободко, О.В. Дубровіна. - К.: АграрМедіаГруп, 2013. -16 с.

28. Матвеев Ю. Б. Перспективы добычи и использования биогаза на украинских полигонах твердых бытовых отходов. Матеріали міжнародної конференції "Інвестиції та зміна клімату: можливості для України", 10-11 липня 2002 року, Київ, С. 186-190.

29. Волков С. С., Гриценко А. В., Недава О. А., Северин О. С., Арапов О. А., Кононов Ю. А., Збір та утилізація метану з полігону твердих побутових

відходів в м. Луганську. УКРНДІЕП, т.2, // Харків, 2012, с.139. (На правах рукописі).

30. П'ятничко О. І., Жук Г. В., Онопа Л. Р. та ін. Спосіб регазифікації зрідженого природного газу з виробленням електроенергії // Патент України №55853 Опубл. Бюл.№24 27.12.10

31. О. І. П'ятничко, Г. В. Жук, О. А. Недава, А. В. Гриценко та ін. Досвід утилізації звалищ нього газу в енергетичних установках України: Монографія – К.; Аграр. Медіа Груп, 2015. - 126 с.

32. Касимов А. М., Семенов В. Т., Коваленко А. М., Александров А. М. Твердые бытовые отходы. Технология, оборудование. Проблемы и решения. – Х.; ХНАГ, 2006. – 301 с.

33. Семенова Т. А., Лейтес И. Л., Аксельрод Ю. В., Маркина М. И., Сергеев С. П., Харьковская Е. Н. Очистка технологических газов. – М.: Химия, 1977. – 488с.

34. Бекиров Т. М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов.-М.: Недра, 1980.-293с.